

P. 1492
VII^{es} JOURNÉES D'INFORMATION DU « GRENIER DE THEIX »
Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires

LES ACQUISITIONS RECENTES SUR LES CARENCES EN OLIGOELEMENTS DU SOL AUX RUMINANTS



INSTITUT NATIONAL
DE LA
RECHERCHE AGRONOMIQUE

BTT-23

Supplément au
BULLETIN TECHNIQUE DU C.R.Z.V. DE THEIX
Numéro spécial Septembre 1975

VII^{es} JOURNÉES D'INFORMATION DU « GRENIER DE THEIX »

Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires

Station de Physiopathologie de la Nutrition

LES ACQUISITIONS RECENTES SUR LES CARENCES EN OLIGOELEMENTS DU SOL AUX RUMINANTS

15 - 16 - 17 Octobre 1974

(Lycée Agricole de Marmilhat)

*Les organisateurs tiennent à remercier la Société Commerciale des Potasses et de l'Azote
pour sa participation à la publication de ces Comptes Rendus.*

INSTITUT NATIONAL
DE LA
RECHERCHE AGRONOMIQUE

Supplément au
BULLETIN TECHNIQUE DU C.R.Z.V. DE THEIX
Numéro spécial, Septembre 1975

2f cy

X

VII^e JOURNÉE D'INFORMATION DE « GRENIER DE TRÉIX »
Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires

Station de Physiologie de la Nutrition

LES ACQUISITIONS RÉCENTES SUR LES CARENCES EN OLIGOÉLÉMENTS DU SOL AUX RUMINANTS

15 - 16 - 17 Octobre 1974
(Lycée Agricole de Marnhars)

Les organisateurs tiennent à remercier le Comité d'Organisation des Travaux et de l'Accueil
pour sa participation à la publication de ces Comptes Rendus

INSTITUT NATIONAL
DE LA
RECHERCHE AGRICOLE

Supplément au
BULLETIN TECHNIQUE DU C.R.A.V. DE TRÉIX
Numéro spécial, Septembre 1975

SOMMAIRE

SYMPTÔMES DE CARENCES ET RÔLES DES OLIGOÉLÉMENTS CHEZ L'ANIMAL ; DIAGNOSTIC CLINIQUE. <i>M. LAMAND</i> (I.N.R.A.)	PAGE 5
LES CARENCES EN OLIGOÉLÉMENTS CHEZ LES RUMINANTS EN FRANCE : RÉSULTATS D'ENQUÊTE. <i>S. PERIGAUD, M. LAMAND, J. BELLANGER, M. RICHET</i> (I.N.R.A.)	14
LES CARENCES EN OLIGOÉLÉMENTS DANS LE FINISTÈRE : RÉSULTATS D'ENQUÊTE ET PROPHYLAXIE MISE EN PLACE. <i>J. KEROUANTON</i> (E.D.E. FINISTÈRE)	33
CAS CONCRET DE CARENCE EN CUIVRE OBSERVÉE DANS UN TROUPEAU LAITIER. <i>M. CROSSET-PERROTIN</i> (S.C.P.A.)	42
DIAGNOSTIC GÉOCHIMIQUE. INTERFÉRENCES AVEC LA CULTURE FOURRAGÈRE ET SON INTENSIFICATION. <i>S. PERIGAUD, M. COPPENET</i> (I.N.R.A.)	46
DIAGNOSTIC ANALYTIQUE DES CARENCES. ÉCHANTILLONNAGE ET CONTAMINATIONS. MÉTHODES D'ANALYSE. <i>J. BELLANGER</i> (I.N.R.A.)	67
LES CARENCES MINÉRALES EN FRANCE CHEZ LES PLANTES À DESTINATION FOURRAGÈRE (DONT LE MAÏS). <i>S. TROCME</i> (I.N.R.A.)	75
OLIGOÉLÉMENTS ET FERTILITÉ. <i>M. BROCHART</i> (I.N.R.A.)	82
NOTIONS DE DIGESTIBILITÉ ET TENEURS RECOMMANDÉES DANS LA RATION : PROPHYLAXIE ET TRAITEMENT. <i>M. LAMAND</i> (I.N.R.A.)	90
POSSIBILITÉS D'ENRICHISSEMENT EN OLIGOÉLÉMENTS DU MAÏS ET DES FOURRAGES SUR PIED : APPORTS AU SOL ET PULVÉRISATIONS FOLIAIRES. <i>M. COPPENET, S. PERIGAUD</i> (I.N.R.A.)	98
INFLUENCE DE LA DOSE ET DE LA FORME D'AZOTE SUR LES TENEURS EN CUIVRE DE DIFFÉRENTES GRAMINÉES FOURRAGÈRES. <i>D. BLANC, C. OTTO</i> (I.N.R.A.)	112
INFLUENCE DE QUELQUES FACTEURS NATURELS ET DES FACTEURS D'INTENSIFICATION SUR LA COMPOSITION EN OLIGOÉLÉMENTS DES FOURRAGES DE PRAIRIES PERMANENTES. <i>F. DE MONTARD, S. PERIGAUD</i> (I.N.R.A.)	120
COMPORTEMENT SPÉCIFIQUE DE DIFFÉRENTES ESPÈCES FOURRAGÈRES VIS-À-VIS DE LEURS POSSIBILITÉS D'ACCUMULATION DU CUIVRE DANS LES PARTIES AÉRIENNES. <i>Y. COÏC, C. LESAINT</i> (I.N.R.A.)	137
EXEMPLE D'UN MODÈLE SIMPLIFIÉ POUR L'ÉTUDE DES MIGRATIONS DU CUIVRE APPORTÉ PAR VOIE FOLIAIRE. <i>M. HENRY, S. PERIGAUD</i> (I.N.R.A.)	143

SOMMAIRE

IMPORTANCE DU MOLYBDÈNE ET DE CERTAINS AMENDEMENTS RICHES EN OLIGO-ÉLÉMENTS SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA QUALITÉ DE LA LUZERNE : UTILISATION EN VUE DE L'ALIMENTATION ANIMALE.

C. JUSTE (I.N.R.A.)

151

EXPÉRIMENTATIONS SUR LA COMPLÉMENTATION EN OLIGOÉLÉMENTS. LES DIFFÉRENTS TYPES, LEURS DIFFICULTÉS RESPECTIVES.

M. RICHEL, S. PERIGAUD, M. LAMAND (I.N.R.A.)

162

PROBLÈMES SOULEVÉS SUR LES PLANS BIOLOGIQUE ET LÉGISLATIF PAR L'ADJONCTION D'OLIGOÉLÉMENTS AUX ALIMENTS DES ANIMAUX.

R. FERRANDO (E.N.V. ALFORT)

170

CONCLUSION

177

DISCUSSION GÉNÉRALE

179

HORS-TEXTE : ENCART EN COULEUR SUR LES CARENCES EN OLIGOÉLÉMENTS SUR ANIMAUX (PHOTOS LAMAND)

SYMPTOMES DE CARENCES ET ROLES DES OLIGOELEMENTS CHEZ L'ANIMAL ; DIAGNOSTIC CLINIQUE

M.LAMAND

INRA

Station de Physiopathologie de la Nutrition

C.R.Z.V. de Theix

63110 Beaumont

I INTRODUCTION

Les oligoéléments sont des éléments minéraux, présents dans les tissus à doses infinitésimales. Ils font partie de systèmes enzymatiques, éventuellement d'hormones ou de vitamines (cobalt). Ils se distinguent en cela des macroéléments qui entrent dans des structures. Le phosphore et le calcium forment par exemple la charpente de l'os.

Les animaux sont des transformateurs de matières premières, plus ou moins grossières et le plus souvent végétales. Les productions qui visent à procurer à l'homme des produits élaborés (viande, lait...) se font grâce à des séries de réactions chimiques en chaînes appelées voies métaboliques. Les carences en oligoéléments limitent les synthèses de telle ou telle voie métabolique et diminuent donc l'efficacité zootechnique des animaux.

Les carences en France sont rarement profondes et suffisantes pour bloquer complètement les voies métaboliques intéressées. Il existe également souvent des voies métaboliques parallèles susceptibles de prendre le relais. Pour ces différentes raisons, les carences provoquent rarement des maladies spectaculaires avec une mortalité élevée. En revanche, les subcarences, les plus fréquentes, provoquent des diminutions de rentabilité des animaux et des symptômes plus ou moins atténués. De l'animal sain à l'animal profondément carencé on rencontre tous les intermédiaires possibles. Tous les symptômes d'une carence se rencontrent rarement en même temps sur un seul malade mais on peut les retrouver sur la totalité d'un troupeau.

Habituellement les carences en oligoéléments sont révélées au fur et à mesure de l'intensification fourragère et zootechnique. Les animaux à hautes performances sont atteints préférentiellement, et, à degré de carence égal, le nombre des malades croît avec ces performances.

Les différents symptômes sont passés en revue et résumés dans le tableau 2 à la fin de l'exposé.

II LE FER

La carence ne se rencontre pas chez les adultes, les fourrages français étant bien pourvu en fer. En revanche, les jeunes reçoivent un aliment toujours pauvre en fer : le lait. Les jeunes utilisent jusqu'au sevrage leur stock de fer hépatique. Il peut être insuffisant ou épuisé d'autant plus rapidement que le fer a été éliminé de l'environnement ou de l'alimentation.

La carence se caractérise par l'anémie : les muqueuses et la conjonctive sont pâles. Les animaux résistent mal à l'effort : avec l'exercice la respiration et le pouls s'accroissent, le retour à la normale est tardif. Une certaine inappétence apparaît progressivement ainsi qu'un arrêt de croissance. Les animaux carencés présentent une moindre résistance à toute agression microbienne. Il n'est donc pas souhaitable de rechercher avant tout la blancheur de la viande : au-delà d'un certain équilibre les risques sanitaires deviennent trop élevés.

Le fer fait partie des molécules du transport de l'oxygène : l'hémoglobine et la myoglobine, et participe donc directement à la coloration de la viande. Il entre également dans les cytochromes et les chaînes respiratoires nécessaires aux oxydations et donc au métabolisme énergétique de la cellule.

III LE CUIVRE

Le cuivre est le meilleur exemple d'une carence aux multiples symptômes. Ceux-ci ne se rencontrent pas tous sur le même animal, ils sont souvent plus ou moins atténués. Pour retrouver tous les symptômes de la liste, il faut se placer à l'échelon d'un grand troupeau ou d'un village.

Outre le déficit de croissance ou d'engraissement et une chute de production de lait chez les laitières, l'inappétence peut apparaître. La partie fibreuse de la ration (ration de base) est habituellement refusée au début de l'évolution alors que les concentrés restent acceptés. Ultérieurement toute la ration est refusée. L'inappétence est nettement plus rare chez les jeunes au lait que chez les animaux plus âgés. Le pica (dépravation du goût) fait ingérer aux animaux toutes sortes de déchets. La cachexie (ou maigreur extrême) survient à un stade plus avancé.

L'anémie par carence en cuivre est plus fréquente chez les jeunes : elle explique parfois les échecs thérapeutiques des injections de fer pratiquées à doses convenables. Si une certaine carence en fer est parfois recherchée pour la coloration de la viande, l'anémie par carence en cuivre est toujours néfaste car elle ne constitue qu'un symptôme parmi d'autres économiquement plus graves.

Les défauts d'aplomb se traduisent par un épaississement des tables articulaires. Les articulations sont noueuses. La modification du tissu osseux peut provoquer des fractures spontanées. Elles se rencontrent chez les veaux à la mise à l'herbe. La fracture survient lors d'un exercice inhabituel ou du saut d'un obstacle. Une fréquence anormale de fractures chez les jeunes doit faire penser à une carence en cuivre. Les boiteries sont caractérisées par une certaine raideur de la démarche au niveau des reins. La démarche peut être modifiée et simuler l'allure du cheval de parade : c'est la marche à l'amble (l'animal déplace ses membres d'un même côté en même temps).

Chez les jeunes, les boiteries et les parésies (ataxie enzootique) sont dues à une démyélinisation de la substance blanche. Les troubles nerveux sont caractérisés d'abord par une paralysie flasque des membres postérieurs, qui peut se généraliser. L'incoordination des mouvements amène les jeunes à écarter les membres pour augmenter leur polygone de sustentation. L'ataxie enzootique est plus fréquente chez les agneaux que chez les veaux. Elle sévit le plus souvent dans les quelques jours après la naissance.

Les troubles cardiaques se reconnaissent à la présence de pulsations sur la jugulaire, elle-même anormalement tendue. La mort brutale est rare mais peut arriver. Des accidents congestifs, pulmonaires, mammaires ou podaux sont fréquents. La dyspnée est une conséquence de l'insuffisance cardiaque.

La diarrhée est caractéristique d'une carence en cuivre provoquée par un excès de molybdène. Un excès de molybdène rend, en effet le cuivre inutilisable pour les cellules en formant avec cet élément un complexe insoluble.

La décoloration des poils est le symptôme le plus spécifique de la carence en cuivre. Le poil noir devient roussâtre et le poil fauve devient jaunâtre.

Chez les races blanches, ou les moutons on perd un symptôme qui est sans doute le plus utilisé pour poser le diagnostic.

Chez les bovins, le poil devient souvent piqué et rugueux.

Chez les ovins, la laine est rude, plus ou moins fil de fer, et, ce qui est très caractéristique : elle perd ses ondulations ; elle perd également toutes ses qualités technologiques et ne peut plus être filée.

L'infécondité est fréquente, cependant ce symptôme manque totalement de spécificité.

Les raisons biochimiques des symptômes qui viennent d'être exposés sont rassemblés dans le tableau 1.

Tableau 1

Pathogénie de la carence en cuivre

Enzyme ou système enzymatique impliqué						
	Cytochrome oxydase	Cérulo-plasmine	Système complexe + cuivre	Polyphénol oxydase	Céramide galactosyl transférase	Amide oxydase
Voie métabolique inhibée	oxydation des substrats du cycle de Krebs	oxydation du Fe + + en Fe + + + et passage sur la sidérophiline	synthèse de la kératine (oxydation des groupements sulfhydryles)	synthèse de mélanine	synthèse de cérébroside et myéline	oxydation des lysines
Symptômes	ralentissement de croissance ; amaigrissement ; troubles cardiaques.	diminution du taux de myoglobine ; anémie.	altération du poil et de la laine	décoloration du poil	démyélinisation ; troubles nerveux.	anomalies du collagène et de la matrice protéique osseuse ; troubles osseux.

IV LE COBALT

Outre le déficit de croissance ou de production, l'inappétence et le pica apparaissent relativement tôt dans l'évolution de la carence. La maigreur est assez caractéristique. Chez les jeunes, la tête garde une dimension normale alors que le développement du corps est nettement insuffisant ; il apparaît donc une certaine disproportion. L'anémie est inconstante. La diarrhée est habituellement due conjointement à un déséquilibre de la flore du tube digestif pour laquelle le cobalt est indispensable et à une surinfestation parasitaire. Le poil piqué est assez caractéristique : le poil est rugueux, en général long et hérissé en tout sens, sur le garrot en particulier.

L'infécondité est plutôt la conséquence de l'inappétence et de la maigreur.

La plupart des symptômes sont expliqués par le blocage du métabolisme de l'acide propionique. Cet acide gras volatil constitue une des sources énergétiques majeures. Sa transformation en acide succinique par l'intermédiaire de l'acide méthylmalonique est bloquée. Il y a donc une perturbation grave du métabolisme énergétique qui explique l'inappétence et la chute de productivité.

V L'IODE

La carence est caractérisée par le goître, c'est-à-dire l'hypertrophie de la thyroïde. En l'absence d'iode, la glande ne peut synthétiser d'hormone active. La stimulation hypophysaire augmente en vain l'activité de la thyroïde : elle s'hypertrophie plus ou moins. Les symptômes sont ceux de l'insuffisance thyroïdienne.

La chute de productivité et l'inappétence sont dues au ralentissement général du métabolisme. Le goître peut se rencontrer chez les jeunes à la naissance : ils naissent alors sans poil et avec une peau œdémateuse (infiltrée d'eau).

VI LE MANGANESE

La carence est caractérisée par la disparition de l'angulation du jarret : le jarret droit. Il y a également épaississement des tables articulaires qui donne des membres noueux.

Le manganèse est indispensable à l'élaboration de la matrice protéique de l'os, dans la synthèse des chondroïtines sulfates notamment.

L'infécondité est très classique : la puberté est retardée. Les femelles montrent des chaleurs discrètes. La libido des mâles est diminuée.

VII LE ZINC

La carence s'extériorise de préférence chez les jeunes. L'arrêt de croissance survient en même temps que l'inappétence. Elle s'installe brutalement.

Les troubles osseux se traduisent par un épaississement des articulations et éventuellement une boiterie plus ou moins discrète.

Les troubles de la peau sont les plus caractéristiques de la carence. Les poils adhèrent mal à la peau, ils tombent progressivement. La peau dépilée paraît irritée, elle s'épaissit et s'ulcère progressivement. Les érosions cutanées et les plaies ne se cicatrisent pas.

Les sabots déformés ont une corne tendre qui peut s'ulcérer. La pousse de la corne est irrégulière.

L'infécondité accompagne la carence. Si la carence est peu profonde les jeunes, nés à terme, sont peu résistants.

La carence en zinc provoque un arrêt de la synthèse protéique. Ce blocage métabolique explique les arrêts de croissance, l'inappétence et les troubles de la peau. La matrice protéique de l'os est insuffisamment synthétisée. Par ailleurs, la carence en zinc ralentit les échanges calciques de l'os : le remaniement permanent de l'os est ralenti.

VIII LE SELENIUM

Cette carence provoque la myopathie ou dégénérescence musculaire. N'importe quel muscle peut être atteint. La dégénérescence d'un muscle locomoteur provoque des boiteries. Au début de l'évolution, les animaux ont le dos voussé, la queue levée et les membres rassemblés. Des contractures musculaires sont visibles, elles disparaissent au repos.

Progressivement le malade ne peut plus se lever. Les troubles cardiaques provoquent une mortalité foudroyante. La dyspnée est provoquée par l'atteinte des muscles respiratoires : la respiration est courte, haletante, rapide. La paroi abdominale est mobilisée dans ces mouvements.

Sur la carcasse, on trouve les muscles ou les fibres dégénérés sous forme de travées ou flammèches blanchâtres, rappelant les muscles de poisson.

Les raisons biochimiques de la dégénérescence n'ont jamais été élucidées. Un groupe d'auteurs a montré récemment que le sélénium faisait partie d'une enzyme : la peroxydase du glutathion. Cette enzyme, par l'intermédiaire du glutathion, permet la stabilisation des membranes des organites intracellulaires et maintient l'intégrité des molécules d'hémoglobine et de myoglobine.

IX DIAGNOSTIC CLINIQUE DES CARENCES

Il est toujours difficile dans les subcarences rencontrées le plus souvent. Le clinicien peut aboutir, dans le meilleur des cas, à une suspicion plus ou moins bien étayée. L'examen clinique attentif est cependant indispensable pour déterminer la suite des investigations. Un début de diagnostic clinique est nécessaire avant de passer au diagnostic analytique.

Pour la **carence en fer**, le meilleur indice est encore l'anémie malgré son manque de spécificité.

Dans la **carence en cuivre**, la décoloration des poils est le symptôme le plus spécifique pour les bovins de races colorées. Le changement de couleur en fonction de la saison est l'indice le plus précieux. Les troubles cardiaques en série dans une exploitation doivent être pris en considération pour le diagnostic de carence en cuivre. Pour les ovins, la perte des ondulations de la laine est le symptôme le plus spécifique. L'ataxie enzootique, lorsqu'elle se rencontre, sévit peu après la naissance contrairement à la myopathie qui sévit plus tard. Elle doit être distinguée de l'intoxication par l'entérotoxémie. Les autres symptômes n'ont d'intérêt dans le diagnostic que dans la mesure où ils s'ajoutent pour tendre vers la liste complète. Ils doivent en tout cas être recherchés dans tout l'effectif.

La **carence en cobalt** est surtout caractérisée par la maigreur associée au poil piqué dans la mesure où la qualité de la ration ne permet pas d'expliquer cette maigreur.

Le **goître**, bien que difficile à déceler, est le symptôme qui permet de diagnostiquer la carence en iode. La palpation de la thyroïde aboutira alors à la comparaison d'animaux supposés carencés et d'animaux supposés sains.

Pour le diagnostic de la **carence en manganèse**, on peut prendre le jarret droit survenant sur sol calcaire comme spécifique. Il faut cependant bien distinguer le jarret droit de la carence en manganèse, de la parésie spastique qui sévit surtout dans le centre de la France sur les races Frisonnes et Charolaises.

La parésie spastique entraîne, par ailleurs, une douleur grave traduite par l'animal dans son comportement et par le dépérissement assez rapide. La carence en manganèse ne présente pas le même caractère de gravité ni une évolution aussi rapide.

La **carence en zinc** se caractérise par les troubles de la peau associés à une inappétence plus ou moins brutale. Dans ce cas, la pelade et la dermite peut se distinguer des maladies parasitaires par l'absence du prurit et des dépilations aux contours plus ou moins flous. L'absence de guérison des plaies ou érosions cutanées est un indice habituel de carence en zinc.

La **carence en sélénium** se distingue difficilement de la carence en vitamine E sur le plan clinique. Il est habituel de traiter les malades conjointement avec du sélénium et de la vitamine E. Les accidents cardiaques et les boiteries surviennent relativement tardivement, vers l'âge d'abattage, et se distinguent en cela de la carence en cuivre beaucoup plus précoce.

La lésion de dégénérescence musculaire est suffisamment spécifique pour permettre de confirmer le diagnostic.

En conclusion, les symptômes des carences en oligoéléments rencontrés en France sont en général atténués. Ils sont plus ou moins variables d'un animal à l'autre et permettent rarement d'avoir une certitude. En général, on obtient un faisceau convergent de présomptions qui seront confirmées dans un premier temps par le diagnostic analytique et ultérieurement par le diagnostic thérapeutique.

SYMPTOMES DES CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS CHEZ LES RUMINANTS

	FER		CUIVRE		COBALT		IODE		MANGANÈSE		ZINC		SELENIUM	
	A*	J*	A*	J*	A*	J*	A*	J*	A*	J*	A*	J*	A*	J*
DEFICIT DE CROISSANCE OU D'ENGRAISSEMENT		●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		
CHUTE PRODUCTION DU LAIT			●		●		●				●			
INAPPETENCE		●	●	●	●	●	●	●			●	●		
PICA			●	●	●	●								
CACHEXIE			●	●	★	★					●	●		
ANEMIE		●	●	●	●	●								
DEFAUT D'APLOMB			●	●					★	★	●	●		
FRACTURES SPONTANÉES			●	●										
BOITERIE			●	●					●	●	●	●		●
TROUBLES CARDIAQUES			★	★										●
DYSPNEE			●	●										●
DIARRHÉE			●		●	●								
DECOLORATION DES POILS			★	★										
POILS PIQUES			●	●	★	★		●			●	●		
PELADE								●			★	★		
DERMITES											★	★		
GOITRE							★	★						
INFECONDITES			●		●		●		●		●			
DEFORMATION DES SABOTS											●	●		
DEGENERESCENCE MUSCULAIRE														★

* A = Adultes J = Jeunes



Symptômes les plus spécifiques

Tableau 2

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LAMAND M., 1966. Dystrophie musculaire des jeunes ruminants. Ann. Nutr. Alim., **20**, (3), 13-39.

LAMAND M., 1970. Carences en oligoéléments chez les ruminants. Cahiers Med. Vet., **39**, (2), 60-75.

LAMAND M., 1971. Causes, conséquences biochimiques, pathologiques et prophylaxie des carences en oligoéléments chez les ruminants. Bull. Soc. Scient. Hyg. Aliment. (Alimentation et la Vie), **59**, (2), 155-172.

LAMAND M., 1972. Diagnostic des carences en oligoéléments chez l'animal. Ann. Nutr. Alim., **26**, (2), B379-B410.

DISCUSSION

Dr. SOIROT — Que préconisez-vous quand on peut penser à des carences en oligoéléments ? Utilisez-vous une voie parentale ou pas ?

Dr. LAMAND — Le problème pourra être résolu par des formes injectables, à dose convenable. Je reconnais que le vétérinaire en médecine rurale a l'impérieux besoin de réagir tout de suite, donc je crois qu'il faut instaurer un traitement le plus rapidement possible, puis essayer d'obtenir ensuite une confirmation analytique de cette carence. Bien sûr, les résultats du laboratoire arriveront bien trop tard mais ils serviront pour confirmer le cas précédent. Je crois qu'il est toujours bon en la matière d'améliorer les commémoratifs qu'on peut détenir dans une région. Le problème du traitement sera discuté dans une conférence ultérieure.

M. MUNIERE — Je voudrais savoir si le symptôme caractéristique de la décoloration des poils ne peut être dû, dans certains cas, à un léchage par action de la salive. C'est un phénomène qu'on observe pratiquement sur tous les animaux dans notre région, notamment chez les Frisonnes.

Dr. LAMAND — Non, en principe on peut laver un poil noir longuement, il ne va pas se décolorer. Je ne pense pas que ce léchage soit susceptible de décolorer les poils. A l'inverse, il faut peut-être enregistrer ce léchage comme une manifestation de pica.

M. MUNIERE — Je vous cite un exemple très précis ; dans un effectif, 90% des veaux ont les poils décolorés.

Dr. LAMAND — Ceci a été vu aussi à l'I.N.R.A. dans un troupeau de génisses. Il y avait de la décoloration du poil en grand nombre dans ce lot d'animaux. Après injection de cuivre, on a eu une tendance à la recoloration. Malheureusement, dans ce cas, il est extrêmement difficile d'avoir de bons témoins et surtout d'apprécier objectivement la coloration ou la décoloration des animaux. En tout cas, ces animaux se sont recolorés. Je crois que tout changement de couleur dans le courant de l'année doit faire penser à une carence en cuivre d'autant plus que ces carences sont extrêmement répandues. A mon avis, toute vache française est susceptible d'être carencée en cuivre.

M. REDLICH — En Hollande, la décoloration des Frisonnes sur le dos, juste derrière l'omoplate, arrive très souvent en relation avec une maladie du foie.

M. LEMEUR — J'ai découvert vendredi dernier, dans le bassin de Rennes, dans un troupeau de jeunes génisses, des animaux qui ont l'avant-train extrêmement développé ; la différence de hauteur entre l'échine et le rein est de l'ordre de 15 cm sur des animaux de 14 à 15 mois. Est-ce que ces animaux vous intéressent ? Nous n'avons pas encore les photos mais j'ai fait retarder l'abattage par l'éleveur de façon que vous puissiez les observer.

Dr. LAMAND — Effectivement, j'ai déjà été contacté par des confrères. J'ai vu deux cas avec les photos correspondantes ; on a l'impression que les animaux ressemblent à des hyènes du moins comme attitude. Je n'ose me prononcer. J'avais commencé par incriminer une éventuelle carence en oligoéléments sans en être bien sûr. En effet, dans le deuxième cas, apparemment, il y avait eu, peut-être, une carence qui avait duré pendant quelque temps durant la jeunesse, mais en tout cas qui avait été réparée par une complémentation tout à fait adaptée, alors je n'oserai pas conclure. Je vais m'y intéresser, on m'a posé le problème de deux côtés, vous êtes le troisième, c'est assez troublant, vous pouvez m'envoyer le dossier.

Dr. BROCHART — C'est un problème assez troublant puisque cette anomalie est apparue sur des Normandes, on nous a signalé un cas également en Frisonnes et les cas ont l'air de se multiplier depuis quelques mois. Au départ, sur une seule population, on avait pensé à un facteur génétique mais l'apparition simultanée, dans différentes populations et différentes races, de cette anomalie semble peu compatible avec une anomalie génétique. On peut penser probablement à un problème carenciel.

Dr. ROBERT — Quel est le point des études sur le porc ?

Dr. LAMAND — Je ne m'occupe pas de cette espèce, je ne peux vous répondre.

Dr. ROBERT — Qui est la personne qui s'en occupe ?

Dr. BROCHART — Notre ami GUEGUEN a peut-être des informations sur le porc ?

M. GUEGUEN — Je travaille surtout sur les macroéléments et je n'ai pas d'information sur le porc, mais j'espère que l'équipe de LAMAND aura les moyens un jour de s'intéresser au porc.

Dr. BROCHART — Je pense que nous reviendrons sur le porc ultérieurement à l'occasion d'une comparaison des risques de carences entre monogastriques (porcs, volailles) et ruminants car le contrôle des carences chez les monogastriques est théoriquement plus facile à assurer que chez les ruminants pour des raisons que j'évoquerai moi-même demain matin.

Dr. GANSEL — En ce qui concerne les carences en sélénium, vous avez parlé des dégénérescences musculaires qui sont caractéristiques effectivement. Mais en ce qui concerne la myocardie, c'est une maladie qui évolue très vite, qui évolue en quelques heures. Néanmoins, à l'abattage, on trouve des lésions du myocarde qui sont extrêmement importantes. Pensez-vous que ces lésions ont pu évoluer si vite ? Si oui, comment expliquez-vous cette carence qui met longtemps à s'extérioriser puisse se déclencher aussi brutalement et évoluer aussi rapidement ?

Dr. LAMAND — J'ai une expérience précise à ce sujet. J'ai réussi avec beaucoup de difficultés à faire une carence expérimentale en sélénium et non en vitamine E. J'avais dix animaux carencés, j'en ai perdu cinq de mort brutale, c'est-à-dire que je n'avais pas le temps de parcourir les 150 m entre mon bureau et l'annexe expérimentale. Quand j'arrivais, ils étaient tombés et, à l'abattage, j'ai trouvé deux autres animaux avec des cœurs où l'on pouvait difficilement trouver 10 à 20% de tissu sain. J'étais stupéfait de voir des animaux encore en vie avec de tels cœurs. Bien sûr, ils avaient des performances lamentables, c'est-à-dire qu'ils se maintenaient en vie, la croissance était nulle, c'étaient des animaux lourdement tarés. Je crois que cela peut expliquer éventuellement ces animaux zootechniquement tarés après une myopathie mais il faut croire que ces animaux sont très résistants.

Dr. GANSEL — Ces animaux avaient-ils néanmoins des signes cliniques ?

Dr. LAMAND — Non aucun, ils étaient maintenus en cage dans des conditions d'élevage relativement traditionnel, je ne les ai pas envoyés en prairie et ils n'avaient pas fourni d'effort.

Dr. BROCHART — Je pense que vous aviez trouvé une réponse au niveau des transaminases. D'après votre expérience, ce moyen de diagnostic est important.

Dr. LAMAND — On a une possibilité de diagnostic au laboratoire qui est intéressante, c'est l'élévation extrêmement précoce de la transaminase glutamique oxaloacétique (TGO) qui précède d'à peu près un mois l'apparition des lésions et donc des symptômes. Eventuellement ces animaux qui font des dégénérescences un peu occultes pourraient être dépistés par des dosages systématiques de la T.G.O. Je crois que ce moyen de diagnostic a l'avantage de permettre l'instauration d'une prophylaxie avant l'apparition des symptômes et lésions donc d'éviter des pertes économiques. Que peut-on penser de ces animaux qui ont eu une atteinte cardiaque qu'ils n'ont pas extériorisée ? Je pense qu'on peut les détecter avec la T.G.O. à condition de ne pas intervenir trop tard. Si l'attaque est trop ancienne on peut passer à côté de la carence, il y a un problème.

Dr. SOIROT — Pensez-vous que les muscles locomoteurs ou cardiaques puissent se régénérer ?

Dr. LAMAND — Je suis tout à fait d'accord, les animaux ont une puissance de récupération assez stupéfiante. Il m'est arrivé de suivre des récupérations d'agneaux après traitement par le sélénium. Pour une raison autre que la myopathie, l'un des malades est mort 10 jours après la crise, l'autre 20 jours après et j'ai pu voir des images histologiques de régénérations musculaires. Dans la mesure où le sarcolème est resté intact, la cellule peut se régénérer, c'est-à-dire qu'elle est progressivement recolonisée d'un syncytium. Donc je crois que c'est effectivement possible qu'il y ait cette régénération.

Dr. PIEL — Vous avez parlé pour certaines carences de troubles cardiaques qu'on peut déceler à l'auscultation. De quelle nature sont ces symptômes ?

Dr. LAMAND — Dans la carence en cuivre, il y a des troubles cardiaques pouvant avoir une issue fatale. On peut les rencontrer chez les jeunes dès la naissance. Les troubles cardiaques dus à la myopathie s'extériorisent plus tardivement. On a des bruits qui sont moins nets, assez assourdis, lointains, des tachycardies qui sont difficiles à expliquer.

Dr. PIEL — Dans l'Aveyron, j'ai vu des veaux qui avaient du pica. On a attribué ce symptôme à une carence en sélénium. En effet, on a donné des polyvitamines avec du sélénium ; l'efficacité du traitement était proportionnelle à la dose de sélénium. On n'est arrivé à traiter qu'avec le sélénium. Y-a-t-il une relation directe entre pica et carence au sélénium ?

Dr. LAMAND — C'est la première fois que j'entends parler de pica dans une carence en sélénium. Ce n'est pas classique, mais je pense que cela peut se rencontrer, ce n'est pas signalé comme spécifique de la carence en sélénium. Dans des régions fortement carencées, je n'ai jamais vu de veaux avec un pica aussi important. On anticipe sur les problèmes de traitement mais le pica est caractéristique de la carence en cuivre. Si on fait une injection quelconque, on va déclencher une vidange des derniers stocks de cuivre hépatique et donc remonter la cuprémie. Par exemple, on peut remonter la cuprémie en faisant un abcès de fixation à l'essence de térébenthine. On arrive ainsi à doubler la cuprémie. Il est peut-être possible que ce pica provienne d'une carence en cuivre et que votre injection libère les derniers stocks de cuivre et donc momentanément répare cette carence.

Dr. HENAUT — A propos de la subcarence en zinc, il me semble avoir remarqué que l'on a des proliférations de néoformations au niveau des muqueuses beaucoup plus importantes, à mon avis, que les lésions épidermiques.

Dr. LAMAND — On a incriminé la carence en zinc dans les problèmes de verrues et autres excroissances. On ne sait que penser car on n'a pas mené d'expérimentations précises sur ce sujet.

Dr. HENAUT — Là vous parlez d'un problème derme-épiderme alors que moi je parle de muqueuses. Il s'agit de néoformations nodulaires au niveau des trayons. J'ai noté également un autre rapport qui me semble intéressant. C'est l'évolution de l'entérite paratuberculeuse avec l'épaississement des boyaux due à une subcarence en zinc. J'ai fait un diagnostic thérapeutique.

Dr. LAMAND — C'est possible. Le zinc va permettre une cicatrisation active des différentes érosions qu'elles soient internes (intestinales) ou externes. J'ai oublié de préciser qu'on peut trouver des hypertrophies du bourrelet dentaire dans la carence en zinc. On a incriminé la subcarence en zinc, comme favorisant des désordres de la peau y compris les désordres infectieux. En ce moment, nous avons une collaboration avec un collègue virologiste qui s'occupe de vaccination contre l'ecthyma contagieux et on a l'impression qu'on pourrait avoir des ruptures d'immunité lorsqu'il y a subcarence en zinc, ruptures qui n'apparaîtraient pas avec un régime normal en zinc.

Dr. BROCHART — Cette observation cadre bien avec la carence expérimentale en zinc chez le rat où il y a hyperparakératose de l'œsophage caractérisée par une prolifération du tissu de l'épithélium. C'est la première manifestation, chez le rat, de la carence en zinc.

M. BRICOUT — Sur des troupeaux où toutes les causes parasitaires sont éliminées, les rétentions placentaires, provoquant des phénomènes de non délivrance, sont causées par des carences en zinc.

Dr. LAMAND — Je n'ai jamais vu signaler cette liaison (rétention placentaire et carence en zinc). Par contre, la carence en sélénium est susceptible d'aggraver les rétentions placentaires. Les Anglais ont fait baisser le nombre de rétentions placentaires par injection de sélénium. C'est peut-être possible en ce qui concerne le zinc et le panaris interdigité, les Anglais ont aussi montré qu'on pouvait diminuer la fréquence et guérir certains "fourchets" par addition de zinc.

M. BRICOUT — Il semblerait qu'il y ait une liaison assez nette.

ANONYME — Nous n'avons parlé que de carences simples. Existe-t-il des interrelations entre les oligoéléments ?

Dr. LAMAND — Effectivement, les polycarences sont fréquentes. J'ai essayé de décrire des carences aussi séparées que possible. Assez souvent, il y a une des carences qui s'extériorise un peu plus que l'autre mais à l'inverse, vouloir être trop spécifique dans le traitement n'est pas une bonne chose. Par exemple, lors de polycarence cuivre-zinc assez fréquente, si on ne traite seulement qu'au cuivre, on n'aura pas un résultat très spectaculaire, de même pour le zinc. Un traitement mixte est nécessaire. Assez fréquemment on a une extériorisation relativement spécifique. Je n'ai jamais vu par exemple décoloration du poil et pelade, dermite et absence de guérison des plaies etc... Trouver ces symptômes rassemblés est rare. Je pense qu'il faut toujours suspecter une polycarence.

ANONYME — Vous donnez un exemple d'interrelations entre oligoéléments. Ces interactions existent-elles également entre macroéléments et oligoéléments ?

Dr. LAMAND — Bien sûr, nous en verrons un exemple dans un prochain exposé.

Dr. SOIROT — Après des traitements antibiotiques instaurés sur des veaux, nous avons constaté qu'il y avait une dépilation secondaire très importante. Peut-il y avoir un rapport entre ces dépilations et une perturbation du métabolisme des oligoéléments ou sommes-nous en présence de phénomènes séparés qui seraient dus à une intoxication des animaux par les antibiotiques administrés.

Dr. LAMAND — Je crois que l'eczéma existe.

Dr. SOIROT — Je ne parle pas d'eczéma, j'ai vu des veaux qui ont perdu tous leurs poils, ils sont roses. Vous connaissez l'antibiothérapie qui frise à la maniaquerie, non seulement dans les milieux vétérinaires, mais même chez les éleveurs. Les animaux sont, à notre avis, trop souvent surdosés en antibiotiques. Ma question est la suivante : un excès d'antibiotiques peut-il provoquer des carences secondaires en oligoéléments ?

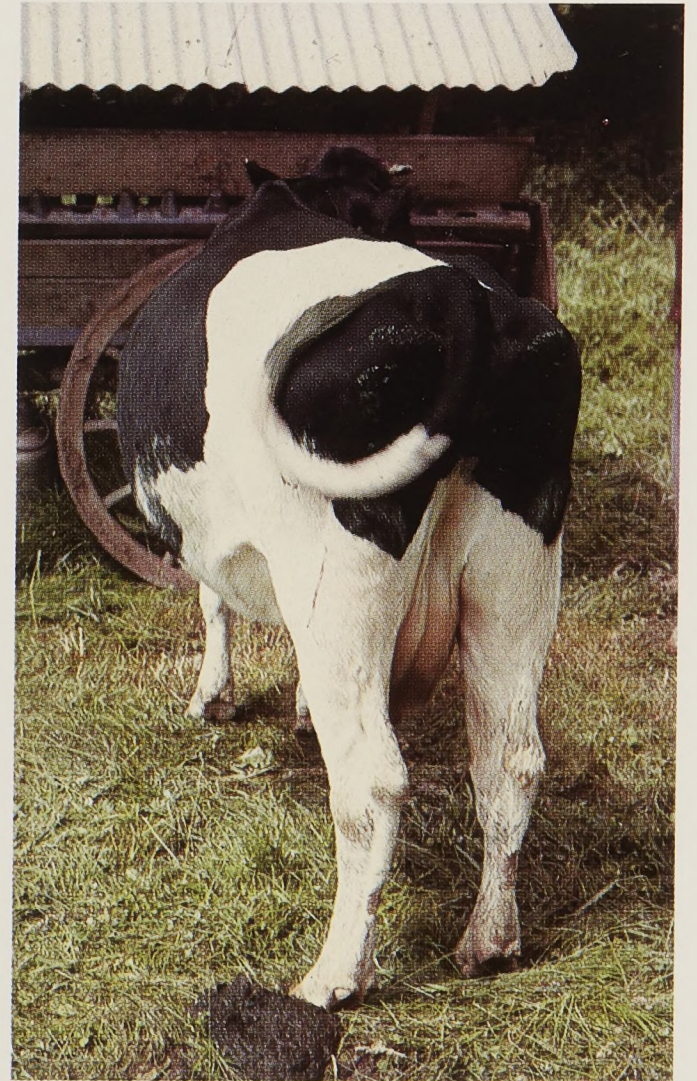
CARENCES EN OLIGO-ÉLÉMENTS SUR ANIMAUX



CARENCES EN CUIVRE

Ci-contre :
décoloration des poils
périoculaires-pica
(léchage du mur).

Ci-dessous :
poils blancs dans
les plages noires.



CARENCE EN CUIVRE

Ci-dessus :
décoloration des poils
sur le garrot, la veine
jugulaire est tendue
et présente une pulsation
(trouble cardiaque).

CARENCE EN MANGANÈSE

Ci-contre :
le jarret droit,
l'angulation du jarret
a disparu.



CARENCES EN OLIGO-ÉLÉMENTS SUR ANIMAUX

ÉPAISSISSEMENT DES ARTICULATIONS

Ci-contre et ci-dessous :
l'épaississement
des articulations
n'est pas spécifique,
il peut provenir
d'une carence en cuivre,
zinc ou manganèse.



CARENCES EN ZINC

Ci-dessus :
les chutes de poils
découvrent une peau irritée
et des micro-ulcères
sur le nez et la tête.

Ci-contre :
chutes de poils sur le cou,
le grasset et le postérieur
avec des micro-ulcères.

Après guérison, on peut voir
apparaître des poils blancs
dans les plages noires,
comme s'il y avait carence
en cuivre (photo verticale
de la page ci-contre).



Dr. LAMAND — Vous posez le problème des relations antibiotiques-zinc. A doses normales, les antibiotiques améliorent la digestibilité du zinc donc je ne pense pas qu'ils déclenchent une carence secondaire. Eventuellement, en cas d'excès, on peut avoir des troubles hépatiques, auquel cas il y a une chute de la zincémie. Donc, si on frise l'intoxication, on va avoir une carence en zinc secondaire mais normalement les antibiotiques en eux-mêmes, n'ont pas d'influence néfaste sur le zinc, au contraire.

ANONYME — Il y a plus un problème de solvants d'antibiotique que d'antibiotique lui-même. En particulier, le DMSO (solvant de beaucoup d'antibiotiques) a une toxicité hépatique importante.

Dr. BROCHART — Dans le cas que vous citez, avez-vous eu des animaux témoins, non traités, pour savoir si eux aussi auraient fait cette dépilation ? Il n'est pas impossible que, par exemple, la diarrhée soit la conséquence d'une carence profonde en oligoéléments. La fréquence est-elle moindre chez des animaux traités autrement que par des antibiotiques ?

Dr. SOIROT — C'est très difficile de donner une réponse scientifique dans le cadre de la pratique en clientèle rurale. Nous avons un nombre considérable de cas que l'on analyse après coup. Des témoins, il ne peut y en avoir, je ne peux pas vous donner une réponse scientifique. Ce n'est pas possible.

ANONYME — Au sujet de dépilation à la suite d'une diarrhée par les antibiotiques, j'ai un exemple personnel. J'ai mis dans un pré, dans mon exploitation, trois veaux, en dehors des autres veaux. Quand ils ont pris la diarrhée, dont ils ne sont pas morts, je ne les ai pas traités, et j'ai observé des dépilations aussi intenses que sur les veaux traités aux antibiotiques.

Dr. BROCHART — Des veaux de quel âge ?

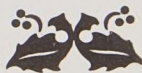
ANONYME — Dans le premier mois, certains ont eu la diarrhée à 15 jours mais pas au-delà d'un mois.

M. JOUSSELIN — Dr. SOIROT, quel est l'antibiotique utilisé ?

Dr. SOIROT — Il est très difficile de préciser la nature des antibiotiques utilisés car l'usage des antibiotiques tourne à la maniaquerie. Sauf si l'on a bien en main ses clients, en règle générale, les animaux ont déjà reçu des antibiotiques. Il faut voir les formules qu'on nous propose, c'est de la démente pure. Certains flacons ont sept-huit antibiotiques qui sont associés. Personnellement, j'ai constaté ces dépilations avec la Néomycine, avec la Kanamycine, avec la Belcomycine, avec des tétracyclines lors de cures aux antibiotiques prolongées. Mais on n'a pas pris un lot d'animaux auxquels on a injecté que du chloramphénicol, on ne peut pas.

M. BRICOUT — Pour donner un élément de réponse à M. SOIROT, il semblerait que la vallée de la Vanne, dans la région de Sens et également la région d'Avallon sont des zones où l'on rencontre des carences en zinc sur maïs. Cela permet peut-être de donner une explication en ce qui concerne les fourrages.

Dr. LAMAND — Ces problèmes de dépilation ne sont pas clairs. Nous avons eu un tel veau à Theix. Ce veau avait une diarrhée. Après traitement raisonnable aux antibiotiques et réhydratation, il a présenté une dépilation intense et quasi généralisée. La zincémie et la cuprémie étaient normales. Pour tenter un éventuel effet thérapeutique, on a injecté du zinc, le poil a repoussé en 15 j. - 3 semaines. Est-ce que cette repousse est due au zinc ou pas ? Avec un seul animal, il n'était pas possible d'avoir de témoin.



LES CARENCES EN OLIGOELEMENTS CHEZ LES RUMINANTS EN FRANCE

RESULTATS D'ENQUETES

S. PERIGAUD* - M. LAMAND* - J. BELLANGER* - M. RICHET**

* I.N.R.A. — Station de Physiopathologie de la Nutrition
C.R.Z.V. de Theix — Saint-Genès Champanelle
63110 Beaumont

** I.N.R.A. — S.E.I. — Route de St Cyr 78000 Versailles

I INTRODUCTION

L'étude des carences en oligoéléments chez les ruminants a été entreprise il y a de nombreuses années dans les pays où la mortalité était élevée (Australie, Nouvelle Zélande, Europe du Nord, etc...). Mais, en France, rien de tel n'était évident : contrairement au secteur végétal, les travaux systématiques sur l'animal sont relativement récents. Si les premières carences en cobalt ont commencé à être soupçonnées dans les Vosges, en 1958 (MAROCKE), c'est à partir de 1964 que la carence en sélénium a fait l'objet d'études systématiques (LAMAND, 1965-1970-1972) : la myopathie des veaux est plus fréquente dans les élevages à taux de croissance élevée.

Parallèlement, BELLANGER (1968) décelait des carences probables en cuivre sur des bovins à l'abattoir : il était vraisemblable que d'autres carences existaient, susceptibles de se révéler avec l'intensification des productions.

Il est donc apparu nécessaire de préciser s'il existait ou non des carences en divers oligoéléments en France ; dans l'affirmative, d'en indiquer la symptomatologie, l'importance et la répartition géographique. Ces travaux de base devaient déboucher, ultérieurement, sur une prophylaxie raisonnée.

La difficulté du problème posé venait du fait que le diagnostic clinique de la carence est difficile, car les symptômes sont multiples, souvent non spécifiques et ne se trouvent pas tous réunis sur le même animal (LAMAND, PERIGAUD, 1973). De plus, le nombre d'animaux atteints d'un ou plusieurs symptômes peut être très variable.

En conséquence, le diagnostic de la carence éventuelle ne pouvait être porté, au début de nos travaux (1968) qu'à partir d'un cumul de données convergentes, d'origines diverses appartenant à l'ensemble de la chaîne sol-plante-animal. C'est l'ensemble de ces travaux et de leurs résultats que nous allons présenter ici. Ils ont été menés en même temps au sein de notre équipe de recherche, à Theix, constituée par un vétérinaire, un chimiste et un agronome.

Nous avons également eu l'aide d'un autre Département de l'I.N.R.A., le S.E.I. (M. RICHET).

Ces travaux comprennent :

- une recherche des symptômes de carences, ceci par le biais d'enquêtes auprès des vétérinaires et de certains éleveurs.
- une étude globale sur les sols à partir des données classiques de la géopédochimie et de la pédogénèse en France.
- des analyses de fourrages en provenance des exploitations les plus diverses.

II LES ENQUETES

1) Méthodes

L'enquête auprès des vétérinaires praticiens présentait simplement la liste des symptômes de carence, sans préjuger de leur interprétation. Les vétérinaires devaient cocher sur une même colonne les symptômes qu'ils rencontrent dans leur secteur sur un même type de malade ; ils disposaient de plusieurs séries de colonnes correspondant chacune à une catégorie d'animaux différents (veaux, vaches, brebis, etc...).

L'enquête auprès des éleveurs a été menée par l'intermédiaire et avec l'aide bénévole des Services de Développement qui ont bien voulu y participer. Le questionnaire destiné aux éleveurs comprenait deux parties distinctes :

- d'une part, des listes de symptômes - la même que celle adressée aux vétérinaires - mais sous forme de fiches individuelles à remplir à raison de une par animal présentant au moins l'un des symptômes décrits,
- d'autre part, de nombreuses questions sur l'exploitation. Cette seconde partie avait pour objectif de rechercher une éventuelle liaison entre l'apparition des symptômes souvent non spécifiques des carences en oligoéléments et les

conditions propres à l'élevage.

2) Résultats

Les résultats obtenus ont fait l'objet de plusieurs publications, plus ou moins détaillées (LAMAND et al, 1973 ; LAMAND, PERIGAUD, 1973 ; PERIGAUD, LAMAND, 1973 ; PERIGAUD et al, 1972, 1973).

a) LES REPONSES

Trois cents vétérinaires ont répondu au questionnaire soit 10% du nombre contacté. Ils ont décrit 1800 profils pathologiques. La répartition des réponses est relativement homogène à travers toute la France, à raison de 2 à 4 par département, chacune d'elles donnant une image de 3 à 4000 bovins correspondant à la clientèle d'un vétérinaire.

L'enquête auprès des éleveurs est plus disparate : elle n'a touché que 49 départements, eux-mêmes plus ou moins bien couverts. Certains ont apporté des données nombreuses sur toute leur superficie (Cantal, Seine Maritime, Haute-Vienne, Haute-Saône...) ; dans d'autres, seule une région a été décrite. Au total, avec les réponses de 585 élevages bovins et 64 troupeaux ovins, les vides sont importants mais les régions étudiées le sont, le plus souvent, en détail et la plupart des régions d'élevage sont représentées.

b) LES SYMPTOMES

Des méthodes statistiques appropriées ont dû être mises au point avec le concours du Service de Biométrie de Jouy, pour l'exploitation de l'ensemble des données recueillies.

Ces méthodes permettent :

- de déceler les groupements de symptômes décrits le plus souvent ensemble sur le même animal,
- de localiser ces groupements selon leur origine géographique.

a) Groupements de symptômes

La méthode statistique employée permet de traduire **sous forme graphique** les groupements de symptômes décelés par l'analyse et ceci sans aucune hypothèse d'interprétation préalable. Les symptômes sont représentés, dans un plan, par des points disposés entre eux de façon telle que leurs distances, prises 2 à 2, soient fonction du nombre de fois où ils sont décrits ensemble sur le même animal. Par exemple (fig. 1) la cachexie et la diarrhée voisins l'un de l'autre, correspondent à deux symptômes décrits le plus souvent ensemble ; à l'opposé, parésie et pelade, les plus éloignés, n'appartiennent pas aux mêmes malades.

L'examen des différents groupes de symptômes les plus rapprochés entre eux permet de déceler plusieurs ensembles qui ressemblent aux profils-types des différentes carences. On peut donc assimiler ces groupes à des carences probables en cuivre, cobalt, zinc, les deux groupes cuivre et cobalt étant d'ailleurs très imbriqués. Un quatrième groupe correspond à la catégorie des troubles osseux que l'on ne peut, ici, attribuer à aucune carence particulière en raison de sa non spécificité (le jarret droit n'avait pas été distingué du reste dans les questionnaires).

Ainsi, la symptomatologie des carences chez les vaches laitières est assez claire (fig. 1), les troubles d'infécondité ayant été rejetés loin de tous les autres symptômes : cela traduit que la principale cause de cette infécondité n'est pas la carence en oligoéléments. Les veaux de lait (fig. 2) sont représentés par une autre image dans laquelle on retrouve bien séparés le complexe cuivre-cobalt, la carence en zinc, les troubles osseux et la carence en sélénium... (celle-ci se rapprochant le plus du cuivre par les troubles cardiaques). Chez les jeunes bovins, les symptômes restent très imbriqués, ce qui traduit une subcarence généralisée (fig. 3).

Autrement dit, il existe bien, en France, des symptômes susceptibles d'être attribués à des carences en oligoéléments. Les animaux qui extériorisent le plus ces troubles sont les jeunes.

b) Localisation de ces carences

Par un artifice graphique, la même méthode d'exploitation statistique permet d'identifier les animaux s'inscrivant dans les groupements de symptômes ainsi décelés. Des animaux, il est facile de remonter à leur lieu d'origine... et de reporter ce lieu sur une carte.

Les symptômes de carence en cuivre et cobalt étant confondus, ce sont des cartes de **carences en cuivre et cobalt** qui ont été dressées : la première est tirée uniquement des réponses de vétérinaires et distingue nettement bovins et ovins (fig. 4). La seconde fait la synthèse des enquêtes auprès des vétérinaires et éleveurs, sans distinguer les espèces (Fig. 5). On constate que ce type de carence (probable) est assez répandue en France.

Sur les mêmes principes ont été tracées une carte de carence en zinc (presque exclusivement sur bovins) (fig. 6) et deux cartes pour le sélénium (fig. 7 et 8). On constate que les carences en zinc sont très dispersées, mais moins denses que celles en cuivre-cobalt ; celles en sélénium, connues des éleveurs du Massif Central sont, en fait, décelées ailleurs par les vétérinaires. Les carences en iode (fig. 9) sont peu décrites, peut-être parce que difficiles à déceler.

Comme on peut le constater, il y a souvent cumul de plusieurs carences sur le même troupeau.

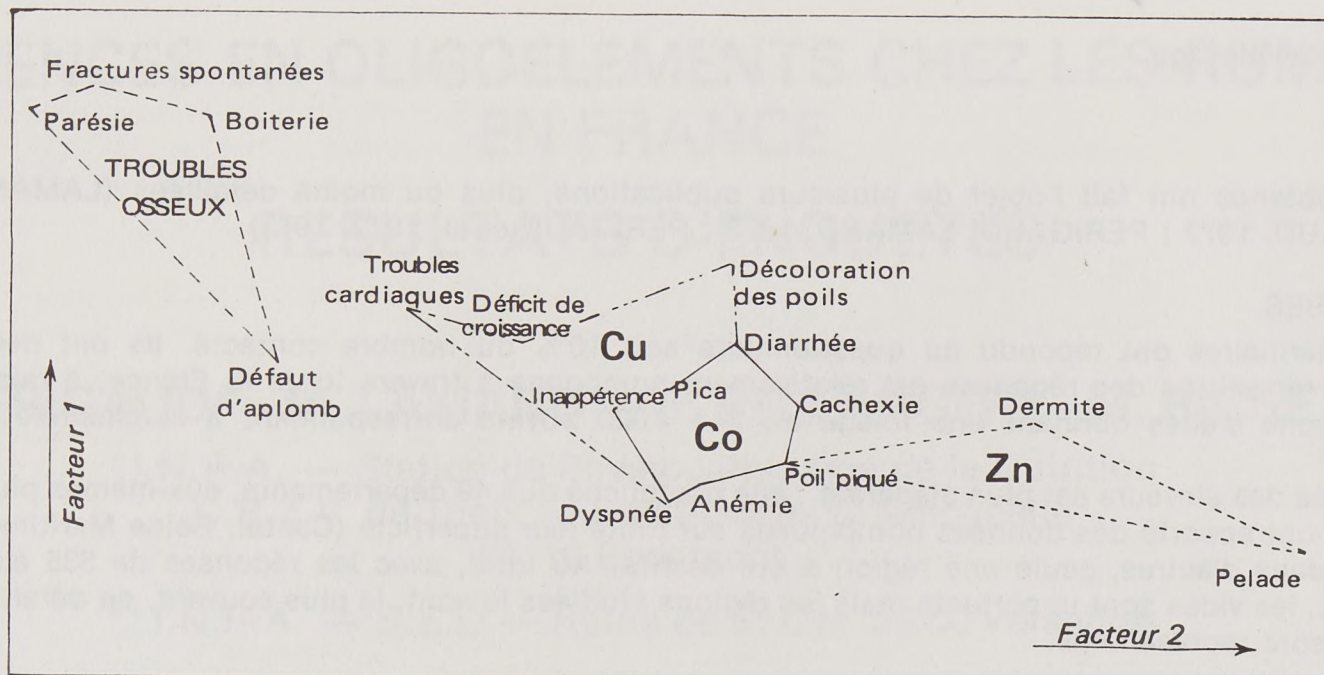


Fig. 1 Symptomatologie des carences en oligo-éléments
Vaches laitières

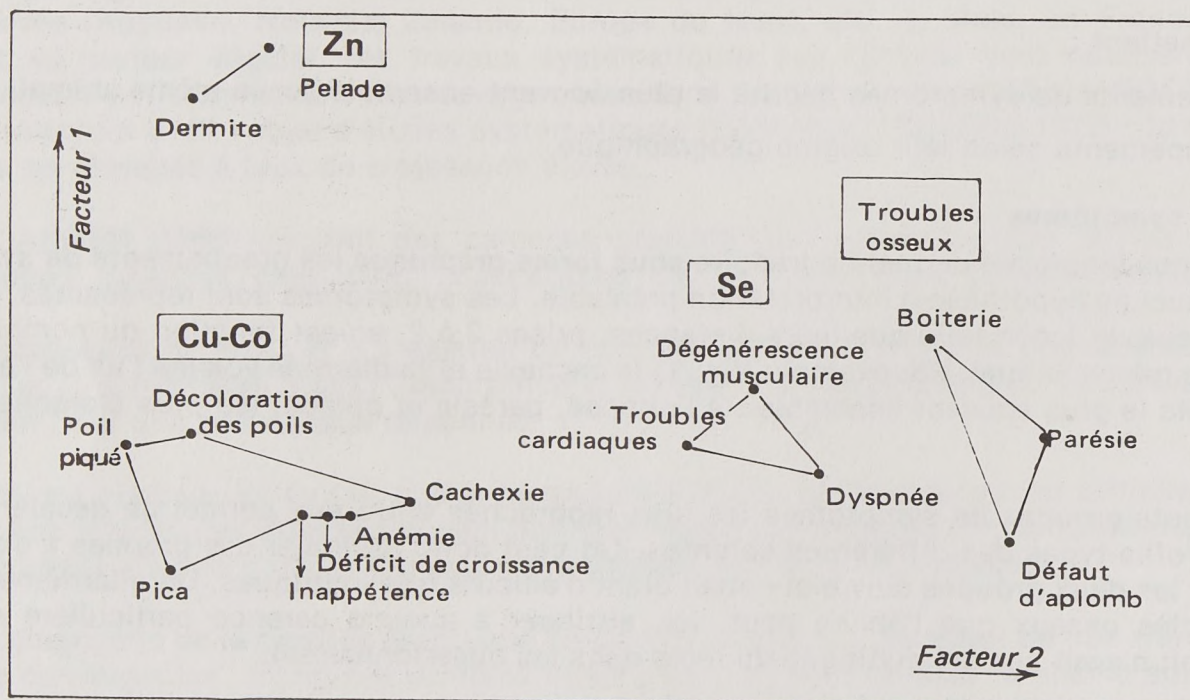


Fig. 2 Symptomatologie des carences en oligo-éléments
Veaux de lait

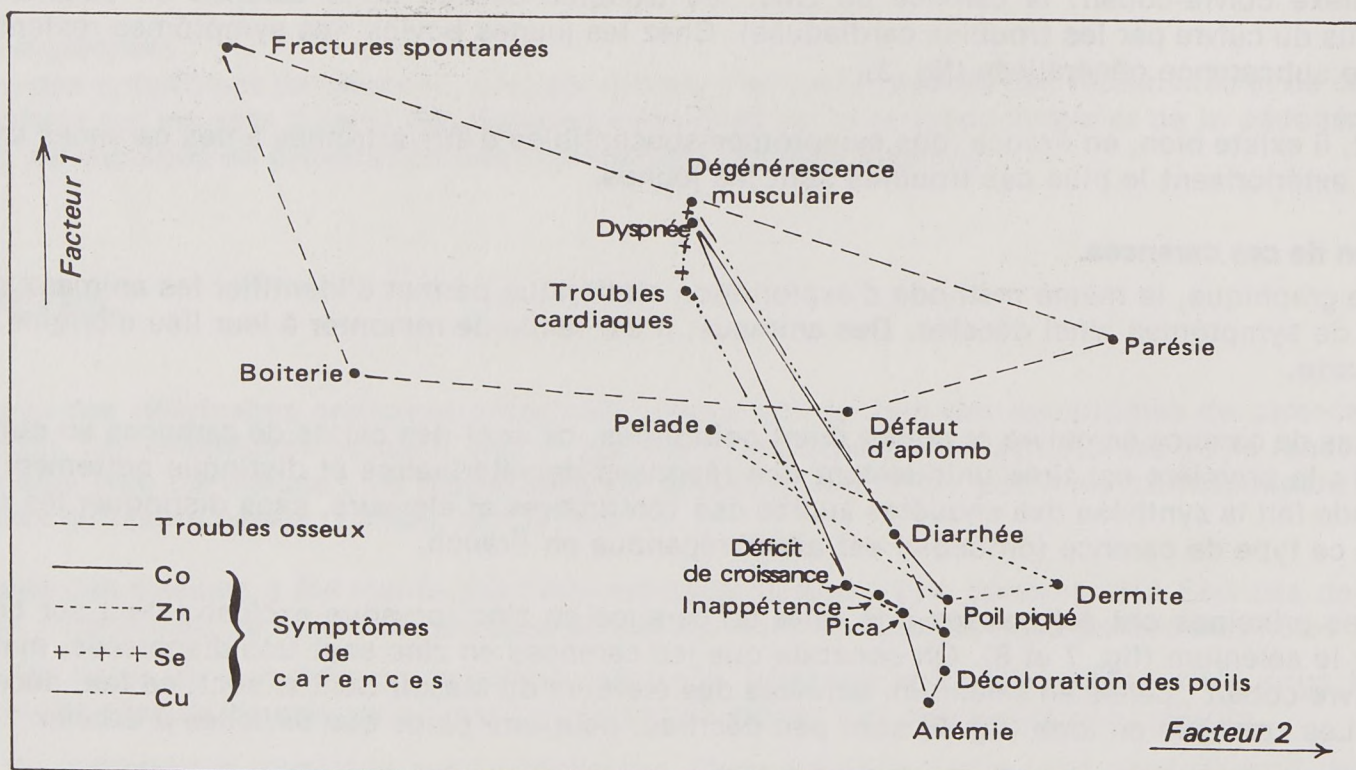
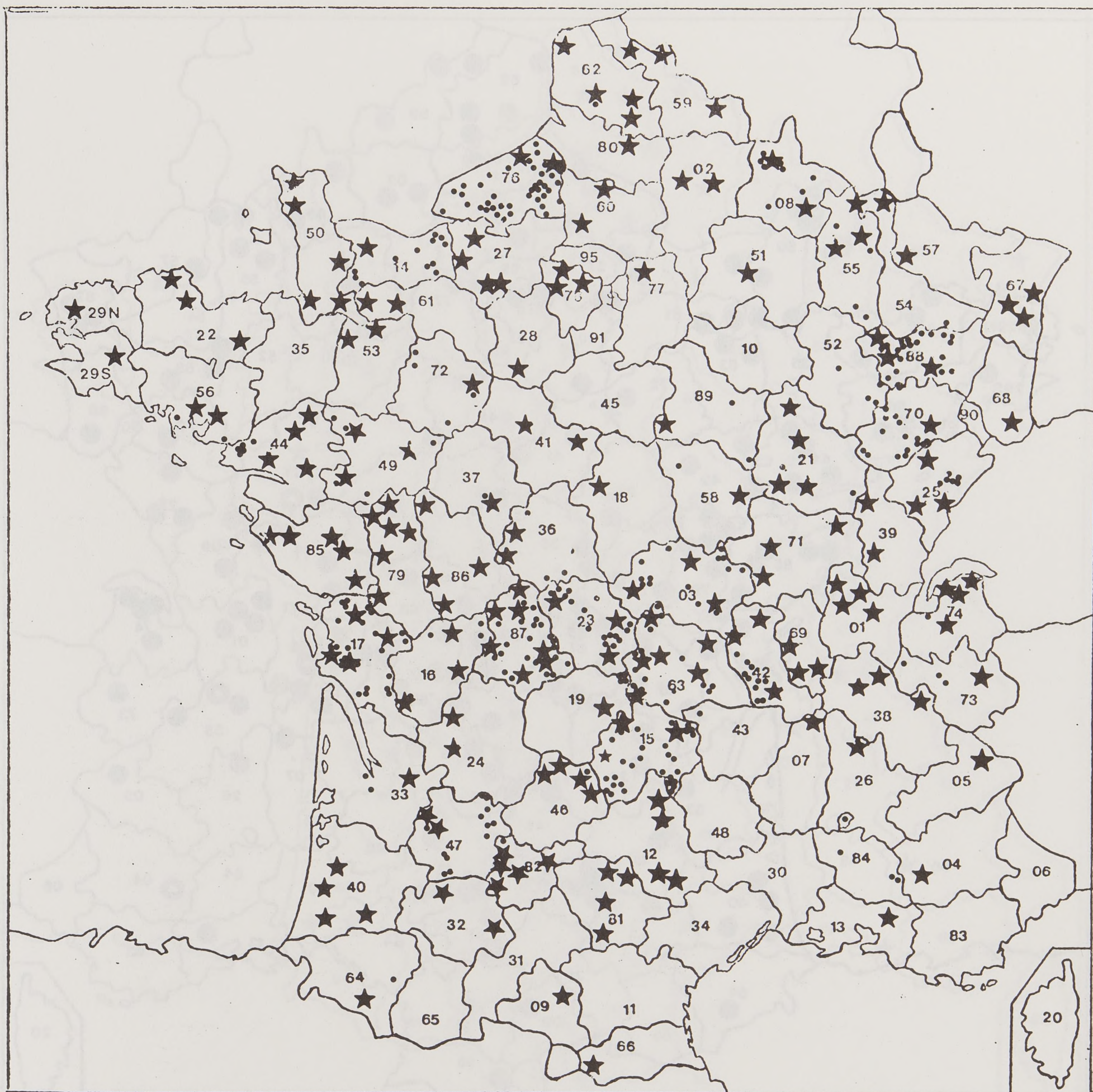


Fig. 3 Symptomatologie des carences en oligo-éléments
Jeunes bovins



CARENCE EN CUIVRE ET EN COBALT

- ★ ENQUETE VETERINAIRES : Elevages carencés dans la clientèle
- ENQUETE ELEVEURS : Elevage carencé

Figure 4

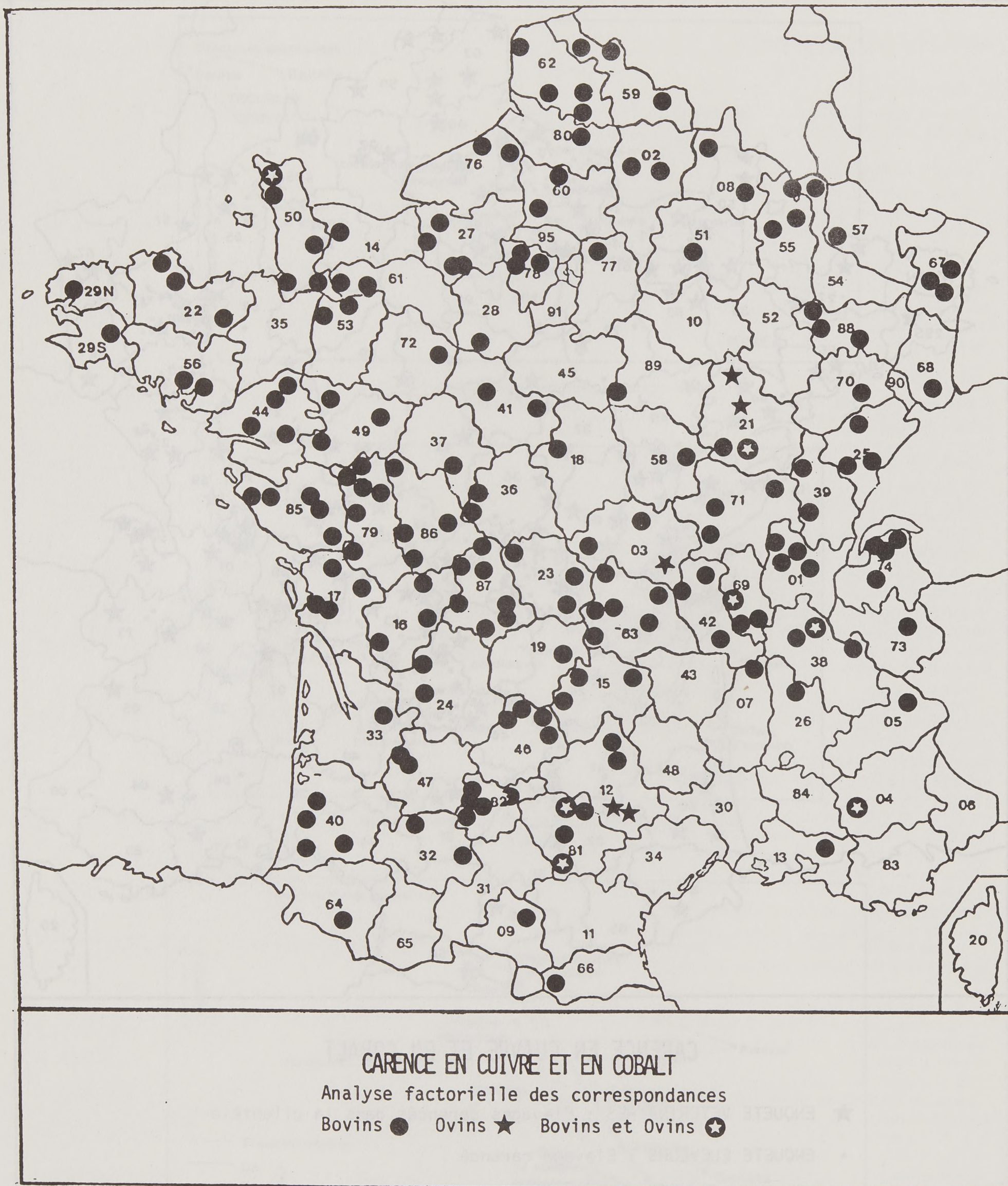
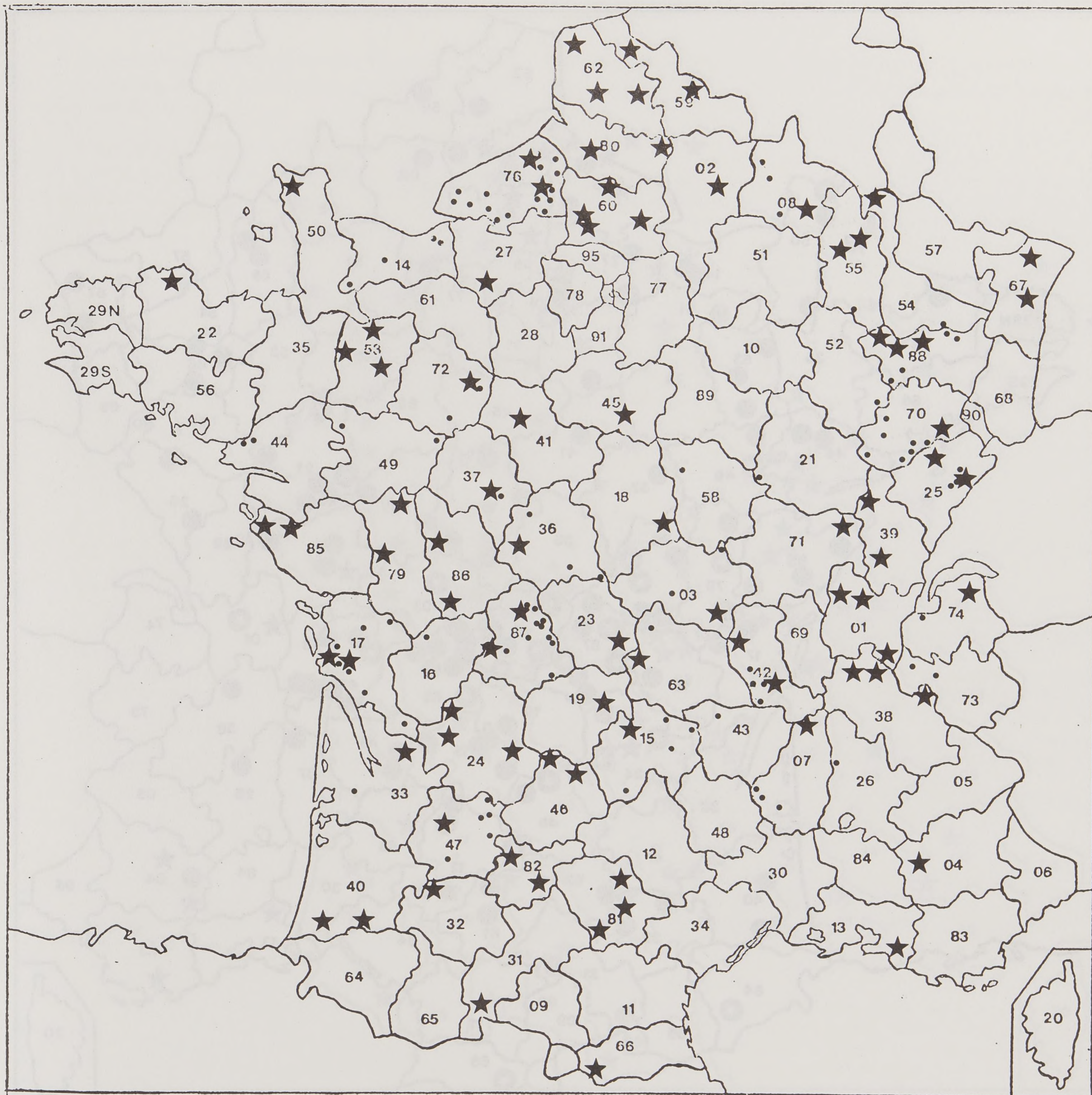


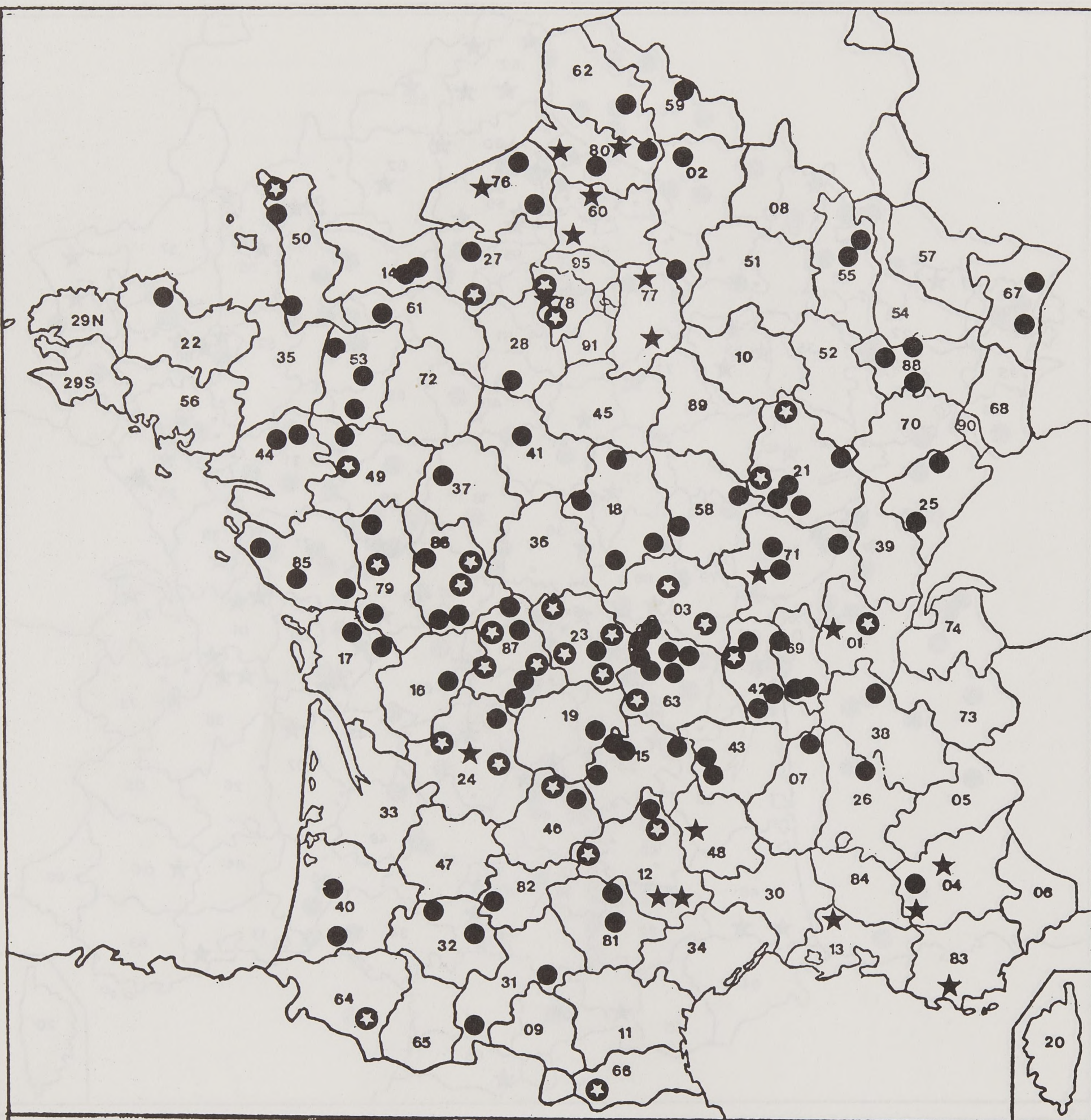
Figure 5



CARENCE EN ZINC

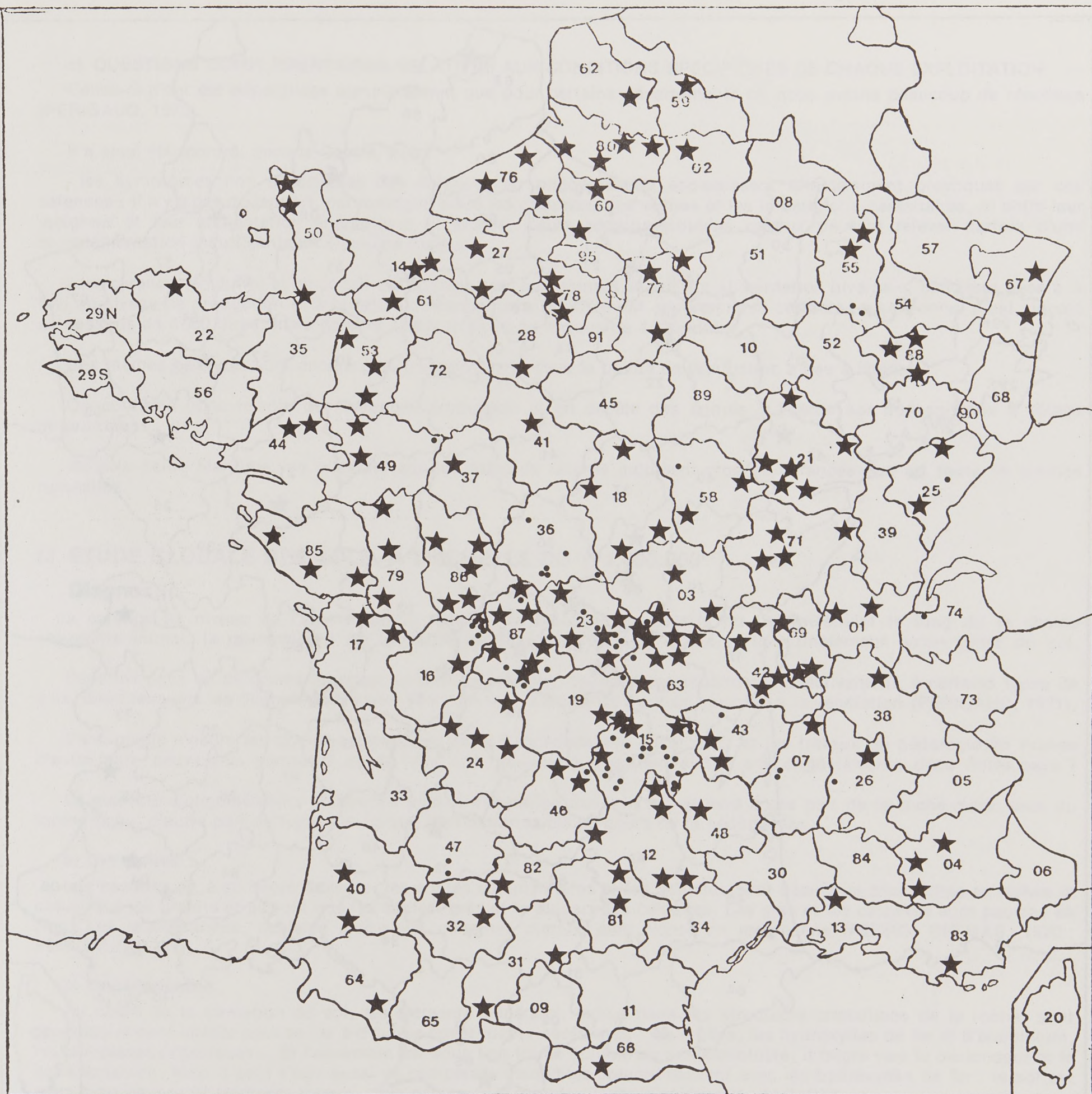
- ★ ENQUETE VETERINAIRES : Elevages carencés dans la clientèle
- ENQUETE ELEVEURS : Elevage carencé

Figure 6



CARENCE EN SELENIUM (MYOPATHIE)
 Analyse factorielle des correspondances
 Bovins ● Ovins ★ Bovins et Ovins ★

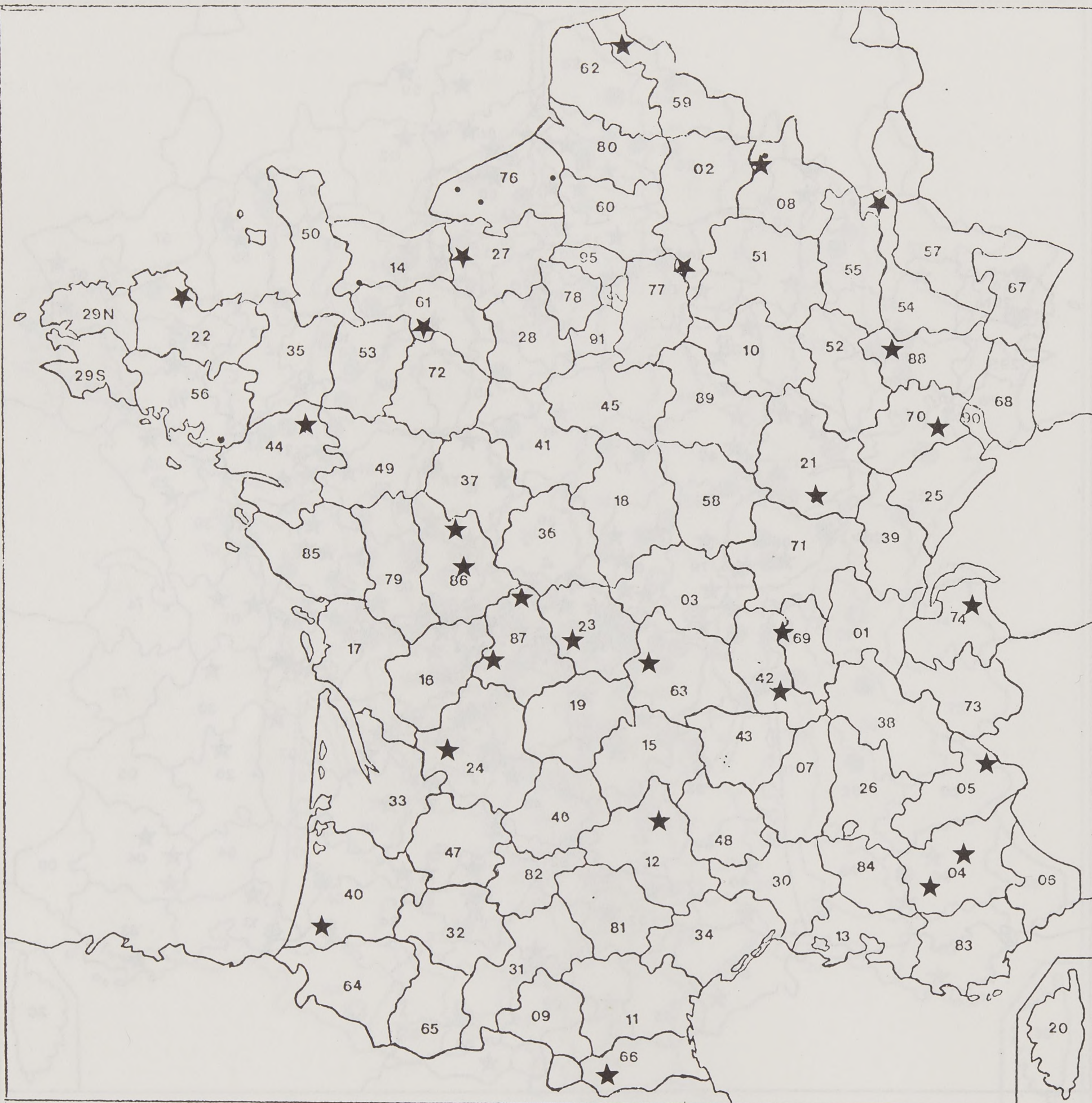
Figure 7



CARENCE EN SELENIUM

- ★ ENQUETE VETERINAIRES : Elevages carencés dans la clientèle
- ENQUETE ELEVEURS : Elevage carencé

Figure 8



CARENCE EN IODE

- ★ ENQUETE VETERINAIRES : Elevages carencés dans la clientèle
- ENQUETE ELEVEURS : Elevage carencé

Figure 9

c) QUESTIONS COMPLEMENTAIRES RELATIVES AUX CONDITIONS SPECIFIQUES DE CHAQUE EXPLOITATION

Celles-ci n'ont été dépouillées complètement que pour certains départements où nous avons beaucoup de réponses (PERIGAUD, 1973).

Il a ainsi été montré, dans le Centre, que :

- les symptômes non spécifiques des carences en oligoéléments apparaissent effectivement provoqués par ces carences : il n'y a pas de rapport, par exemple, entre les diarrhées des vaches et les infestations parasitaires, ni entre leur maigreur et leur alimentation énergétique et azotée. Seuls certains troubles osseux peuvent relever parfois d'une complémentation insuffisante en éléments majeurs.

- les carences en cuivre et en cobalt qui apparaissent aux pointes de lait sur alimentation hivernale, semblent liées à la fois au niveau de production et à la ration : lorsque cette dernière est apparemment correcte, aucun ennui n'est signalé au-dessous de 3 000 litres, mais ils sont systématiques au-dessus de 4 000 litres.

Ces mêmes carences sont encore plus importantes lorsque la pointe de production a lieu à l'herbe.

On confirme donc le rôle du niveau de production et on décèle des ennuis à l'herbe sur des animaux à vèlage de printemps.

Dans la Seine Maritime, on constate que les foin de luzerne induisent plus de carences que les foin de prairies naturelles.

III ETUDE GLOBALE DES SOLS, A L'ECHELLE DU 1/1.000.000°

Diagnostic

La carence au niveau de l'animal est le résultat de blocages successifs de l'oligoélément le long de la chaîne sol-plante-animal, la composition de la partie aérienne du fourrage ingéré n'étant finalement qu'un reflet du sol.

Dans les pays où de graves carences animales sévissent, celles-ci correspondent, effectivement, à certains types de sols, dans lesquels les oligoéléments sont pratiquement inexistantes ou inaccessibles à la végétation (PERIGAUD, 1971).

Dans quelle mesure les données classiques de la géopédochimie d'une part, et les travaux de pédologie en France d'autre part, peuvent-ils permettre de se faire une idée de la situation relative aux oligoéléments dans notre pays ?

La quantité d'oligoéléments disponible pour la végétation dans un sol dépend d'une part de la roche-mère, plus ou moins riche, d'autre part du type et du degré d'altération subie au cours de la pédogénèse.

a) Les roches

Les basaltes et, à un degré moindre, les argiles sédimentaires et les schistes sont beaucoup plus riches en cuivre et cobalt que les granits et surtout que les sables, grès et la plupart des calcaires. Les grès et les calcaires sont pauvres en zinc. Les leucogranites, schistes ardoisiers, certaines marnes sont riches en molybdène (PEDRO, DELMAS, 1970 ; PERIGAUD, 1971).

b) La pédogénèse

Au cours de la formation du sol, les éléments minéraux, inclus dans les structures cristallines de la roche, sont progressivement libérés pour se lier à d'autres constituants néoformés : les argiles, les hydroxydes de fer et d'aluminium, les complexes organiques... Si l'ensemble est sous une forme soluble ou pseudosoluble, il migre vers la profondeur et le sol s'appauvrit. Mais il peut s'agir aussi de complexes insolubles comme souvent avec les hydroxydes de fer : le sol est alors bien pourvu en éléments totaux, mais pauvre en éléments disponibles pour la végétation.

Aux différents processus possibles de pédogénèse correspondent des dynamiques spécifiques connues : ainsi au stade final de leur évolution, les podzols, les tourbières acides sont extrêmement pauvres en tous éléments et constituent des sites privilégiés de carences dans le Monde. Les sols ferrugineux tropicaux et subtropicaux, sur basaltes, bien que riches en éléments totaux, sont également des lieux de carences graves.

En France, il existe des roches mères très pauvres en oligoéléments totaux ainsi que des types pédogénétiques tendant à la perte des oligoéléments par lessivage ou blocage. Cependant, le degré d'altération, sous nos climats, n'est pas aussi poussé que dans les pays où de graves carences sont décrites (Australie, Nouvelle Zélande, Europe du Nord...). **Il ne faut donc pas s'attendre en France à des carences très aiguës.**

Le cuivre et le cobalt ont des comportements voisins, les mêmes sols sont pauvres en ces deux éléments à la fois. Leur position est indiquée sur un fond de carte au 1/1.000.000°, à partir des cartes géologiques et des travaux de pédologie de l'I.N.R.A. dans toute la France. (Nous n'avons pas retenu, à l'époque, la plupart des sols calcaires). Il ressort de ce document (fig. 10, PERIGAUD, 1971) que les sols a priori pauvres en cuivre et cobalt assimilables sont dispersés, imbriqués les uns dans les autres et couvrent finalement des surfaces importantes. Dans cette aire, les carences doivent

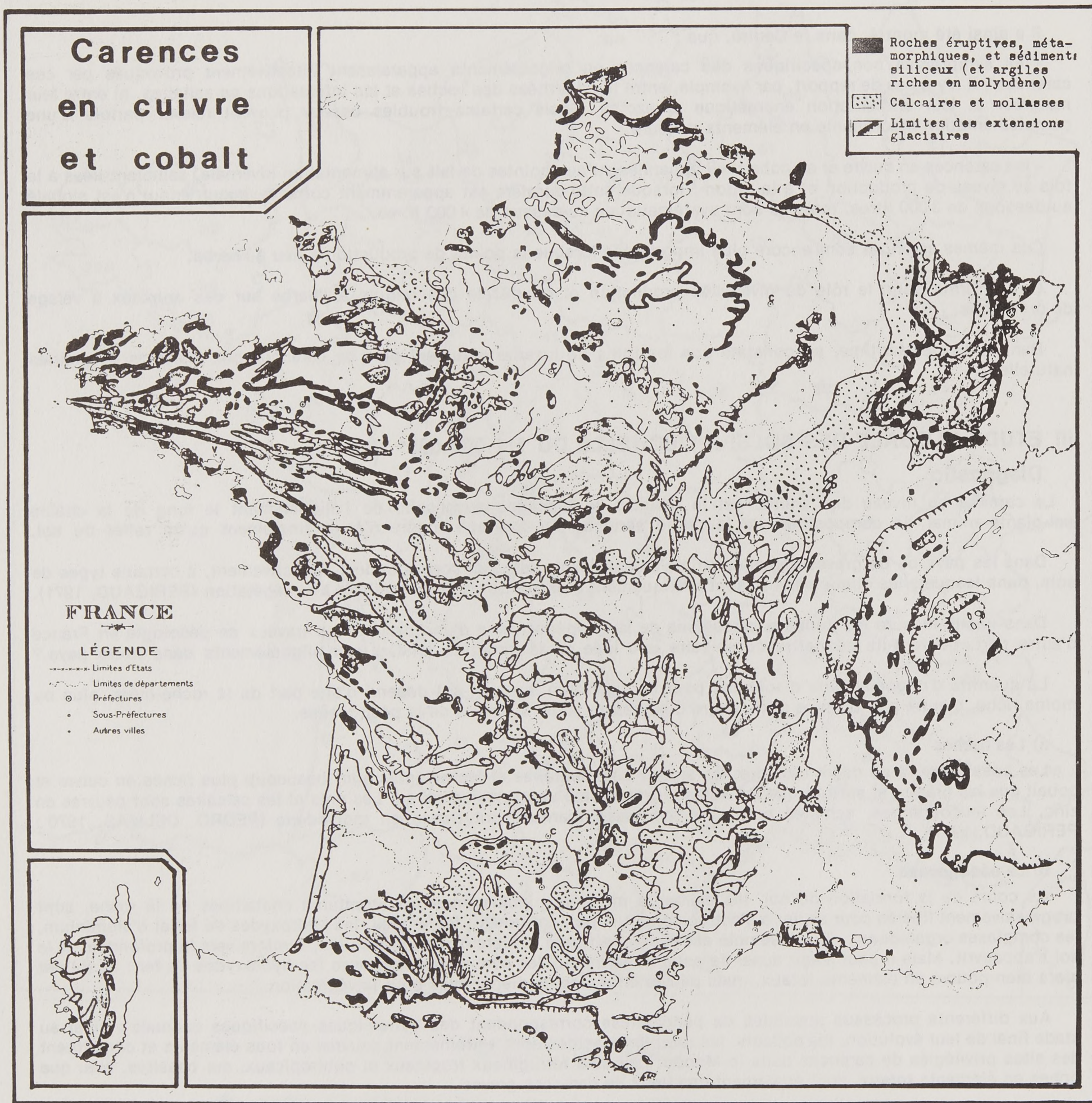


Figure 10

être plus marquées dans les secteurs podzoliques des Landes, du Massif Armoricaïn, des Vosges et des sables gréseux de l'Ouest du Bassin Parisien.

Nous avons reporté sur ce même document en noir et blanc les sols **riches en molybdène** : ils correspondent aux marnes de l'Infralias bien pourvues en cet élément qui, aux pH neutres à alcalin de ces sols, peut rester sous forme disponible pour la végétation.

Les sols pauvres en manganèse assimilable ne peuvent exister que sur les sols calcaires sains : en effet, le manganèse, toujours relativement abondant dans tous les sols, existe sous les trois valences 2, 3 et 4, en équilibre entre elles. Cet équilibre est déplacé vers les oxydes supérieurs, qui précipitent quand le pH augmente. En milieu réducteur, ces oxydes repassent partiellement sous la forme bivalente, soluble ou échangeable donc très accessible aux plantes. Les secteurs ainsi susceptibles d'induire des carences en manganèse sont indiqués sur la fig. 11 en surimpression de la carte des troubles osseux dépistés par l'enquête (PERIGAUD et al., 1973).

Il faut noter dès maintenant toutefois que la disponibilité du manganèse varie considérablement d'un point à un autre d'une même parcelle, en rapport avec les microconditions de drainage : en conséquence, les régions décrites comme susceptibles d'induire des carences sont très loin d'être uniformément carencées. Les sols riches en calcaire actif du Sud-Est doivent être les plus touchés.

Les sols pauvres en zinc ne sont pas uniquement associés à des types pédochimiques définis car l'assimilabilité du zinc dans le sol interfère avec de nombreux autres facteurs (DARTIGUES, LUBET, 1967). On peut simplement noter que cette assimilabilité tend à diminuer au-dessus du pH 6,4 - 6,5 et en présence d'une fertilisation assez importante : les carences se développeraient donc plutôt sur les sols assez compacts, peu acides ou recalifiés et intensivement exploités. Ceux-ci ne sont pas cartographiables à petite échelle.

Les sols pauvres en sélénium sont normalement d'origine éruptive et déjà carencés en cuivre et cobalt (Massif Central, Massif Armoricaïn) mais la mobilité du sélénium dans le sol est plus poussée que celle des deux autres cations, donc l'appauvrissement doit être relativement plus marqué.

Les sols pauvres en molybdène appartiennent au type ferrallitique du Sud-Est (carences d'ailleurs signalées sur les Costières du Gard) et, de façon générale, aux sols riches en oxydes de fer.

Les carences en iode ne sont pas liées au type de sol et ne peuvent relever d'une telle méthode d'approche.

IV COMPOSITION DES FOURRAGES

1) Méthodes

Les multiples travaux dans les pays à carences aiguës ont permis de mettre en relation l'importance de la maladie et la composition en oligoéléments des fourrages ingérés : le seuil de carence pour l'animal est, finalement, la teneur pour laquelle le nombre d'accidents tend à être nul et les teneurs recommandées sont un peu supérieures aux seuils. Il existe de même des **seuils de toxicité**, fonction de l'âge et surtout de l'espèce.

Il ne s'agit pas, dans les deux cas, de limites très strictes, mais d'un ordre de grandeur auquel il est souhaitable de se référer (LAMAND, 1972). L'analyse des oligoéléments dans la ration permet de savoir à quel niveau on se trouve et par conséquent de confirmer ou d'infirmer un diagnostic clinique incertain.

Nous avons donc demandé aux éleveurs de nous faire parvenir les foin et autres aliments entrant pour plus de 30% dans la ration de base hivernale. Les échantillons envoyés avec fiche de renseignements classiques ont été broyés par nos soins et analysés systématiquement en cuivre, zinc et manganèse (BELLANGER, 1971). Pour certains nous avons également fait des dosages de molybdène (DUVAL, 1971), de sélénium (LAMAND, 1969) et de cobalt (HOCQUELLET, 1974) choisis de manière à couvrir suffisamment toutes les régions de l'enquête.

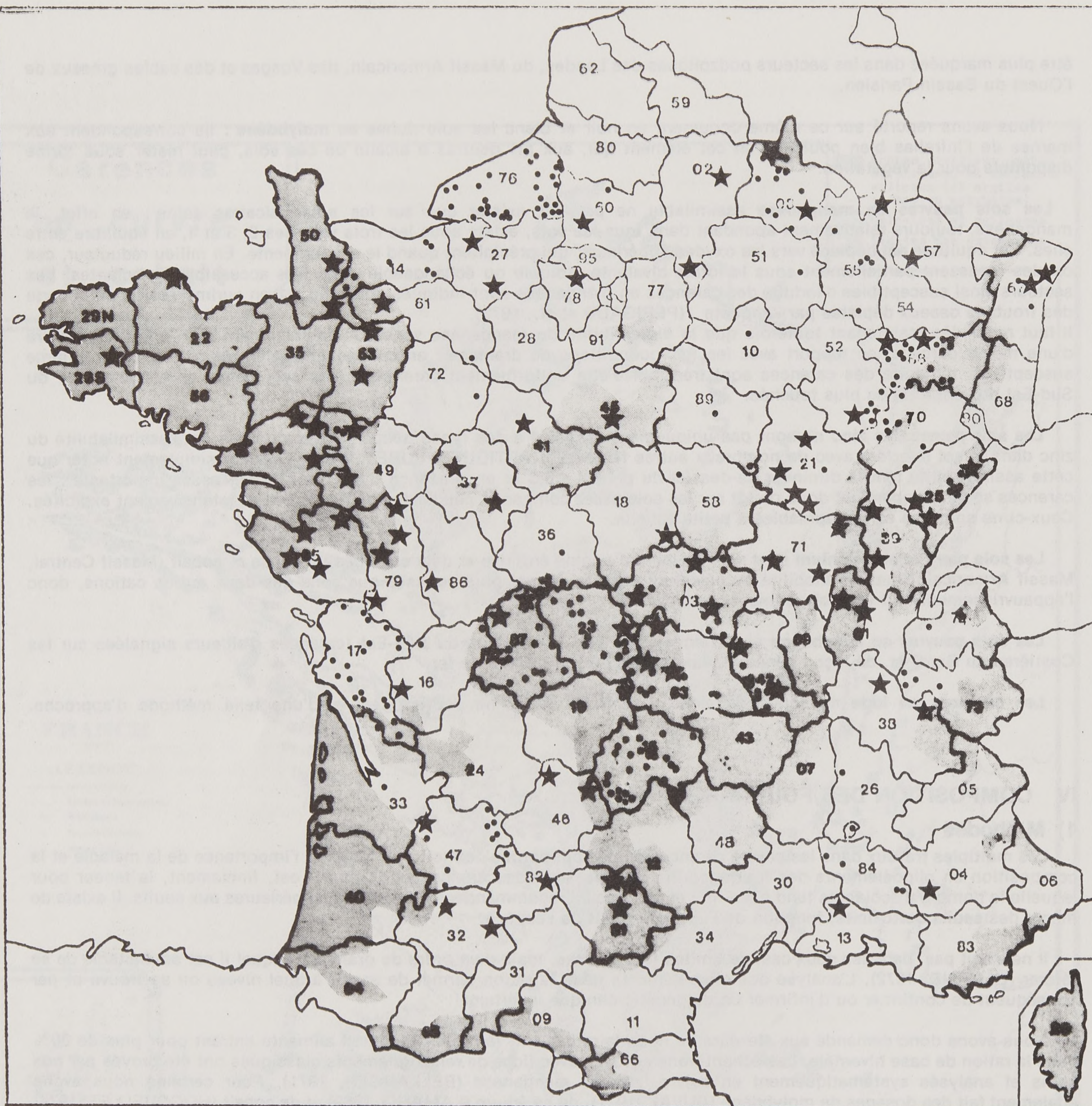
2) Résultats

Au total 1 500 échantillons nous sont parvenus en provenance de 48 départements, à raison de 5 à 100 échantillons par département (BELLANGER et al., 1973).

a) SITUATION AU NIVEAU NATIONAL

Les foin de prairies naturelles 1ères coupes représentent plus de la moitié des échantillons reçus. Sur le total :

- 93% contiennent moins de 7 mg/kg de MS de cuivre et 44% moins de 5.
- 99% ont moins de 50 mg/kg MS de zinc et 53% moins de 30.
- 18% moins de 50 mg/kg MS de manganèse.
- 60% moins de 0,1 mg/kg de MS de cobalt.
(ce dernier chiffre est très inférieur à la réalité par suite des contaminations très fréquentes du fourrage).



TROUBLES OSSEUX

★ ENQUETE VETERINAIRES : Elevages carencés dans la clientèle

• ENQUETE ELEVEURS : Elevage carencé

□ Carences Mn possibles

□ Carences Mn peu probables

Figure 11

Autrement dit, une alimentation hivernale à base de foin (de 1ère coupe) est presque partout insuffisante en cuivre, en cobalt et en zinc ; on explique ainsi que ces carences soient généralisées en France et beaucoup moins importantes en manganèse.

Les taux de molybdène de cette catégorie de fourrages ne sont, nulle part, apparus excessifs. Par contre, la teneur moyenne en sélénium est de 0,05 mg Se/kg MS avec des extrêmes compris entre 0,011 et 0,11 : il est donc normal d'avoir des myopathies signalées un peu partout.

Les fourrages autres que les foins de prairies naturelles peuvent modifier un peu la situation : ils l'améliorent s'il s'agit de regains, mais ils l'aggravent en zinc et surtout en manganèse si ce sont des luzernes (PERIGAUD et al., 1972).

Par contre, les foins de temporaires 1ères coupes (à l'exception des légumineuses) et les ensilages de maïs (sauf pour le manganèse) ne se différencient pas significativement des prairies naturelles (PERIGAUD et al, 1972).

Les regains de certaines régions peuvent tendre vers le seuil de toxicité pour le molybdène certaines années.

b) SITUATION DES DIFFERENTES REGIONS

Les différentes régions étudiées sont caractérisées par la teneur moyenne en oligoéléments de tous les foins de premières coupes - luzernes exclues - (PERIGAUD et al, 1972).

Chaque région est un département ou une fraction de département constituant un ensemble de sols relativement homogène. Les moyennes ont été réparties en 3 classes de teneurs croissantes en cuivre ou en zinc de manière à faire ressortir les secteurs les plus pauvres ou les mieux pourvus.

Les foins les plus pauvres en cuivre (fig. 12) proviennent d'une part du Centre, du Sud Armoricaïn et des Vosges, d'autre part des bordures Ouest du Bassin Parisien et du Massif Central, le pied des Pyrénées et le Sud-Est. On retrouve donc bien les sols issus des granites, des sédiments primaires très anciens cartographiés comme probablement carencés, mais les calcaires sont plus largement carencés que nous ne l'avions soupçonné, et en particulier le Sud-Est.

Les foins les plus pauvres en zinc (fig. 13) se rencontrent dans les Ardennes, l'Ouest et le Sud-Est sur des sols plus ou moins calcifiés.

En ce qui concerne le **manganèse**, l'extrême dispersion des teneurs ne permet pas d'envisager de moyennes régionales. Nous avons préféré adopter un critère zootechnique, le seuil de carence pour l'animal et trier nos régions en deux catégories seulement : celles dans lesquelles tous les foins dosés ont des teneurs en manganèse supérieures à 45 mg/kg MS, et celles dans lesquelles au moins un échantillon est en-dessous de ce seuil (fig. 14).

Dans ces conditions, les basses teneurs se rencontrent dans le Nord, l'Est et le Sud-Est du Bassin Parisien, l'Ouest du Massif Central, le Sud-Est. Le Sud-Est, avec des foins dont les teneurs sont **toutes** inférieures à 60 ppm est particulièrement pauvre. Les Champagnes dépassent rarement 80 mg/kg.

Le blocage du manganèse sous des formes inassimilables se produit surtout sur des calcaires sains riches en calcaire actif, de type rendzine - cas du Sud-Est des Champagnes - et, à un degré moindre, sur les sols argilo-calcaires. Ce sont les secteurs indiqués en blanc sur la carte des troubles osseux.

A l'opposé, le Massif Central, les Alpes, le Jura produisent des foins très riches même si le soubassement est calcaire.

Les teneurs en **cobalt** inférieures au seuil de carence pour l'animal se dépistent dans presque tous les départements et sont généralisées en particulier dans les Basses Alpes, l'Ariège, la Dordogne, la Mayenne, la Nièvre, la Seine Maritime.

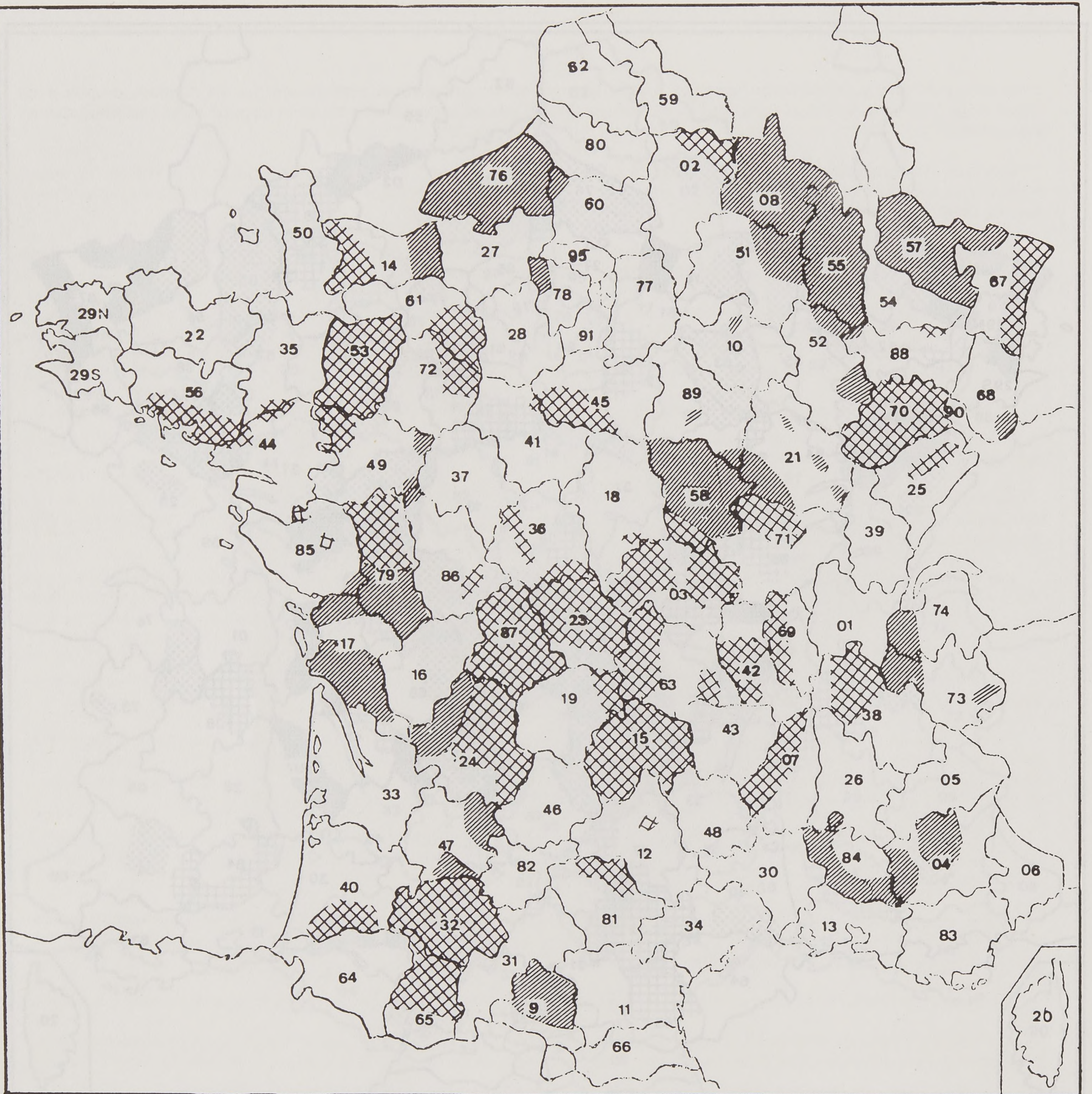
V CONCLUSION

L'enquête auprès des vétérinaires et de certains éleveurs n'a pas été menée dans des conditions optima de rigueur statistique et de représentativité sur toute la France. Cependant, la plupart des régions d'élevage ont été représentées et des travaux extérieurs à notre groupe -notamment en provenance du Finistère- ont apporté des compléments (KEROUANTON, 1974).

Des analyses de fourrages complètent les diagnostics cliniques issus de l'enquête et les données dont nous disposons sur les sols permettent une bonne compréhension de la situation relative aux oligoéléments en France.

Il n'existe pas, en France, de carences aiguës au niveau du ruminant mais les subcarences sont généralisées, surtout en cuivre-cobalt, en sélénium, en zinc. Certaines régions sont un peu plus atteintes que d'autres.

Mais, dans l'ensemble, ces subcarences se traduisent par des symptômes apparemment sans gravité, répartis irrégulièrement sur le même troupeau, certains animaux n'étant même pas atteints. En fait, les déficits de productivité, en



Manganèse

Teneurs minima m
en ppm .

 $m < 45$

 $m \geq 45$

Figure 14

l'absence de témoins ne sont pas chiffrables par ce type d'enquête qui a seulement décelé une tendance à propos des vaches laitières. D'autres travaux, par contre, attirent l'attention sur les conséquences de ces subcarences, qui s'aggravent ou commencent seulement à apparaître, au cours de l'intensification de la production.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BELLANGER J., PERIGAUD S., LAMAND M., 1973. Carences en oligoéléments chez les ruminants en France. III. Eléments d'enquête obtenus par les analyses de fourrages Ann. Rech. Vétér., **4**, (4), 565-598.

COPPENET M., 1970. Les oligoéléments en France. Exemples de problèmes régionaux. I. Le Massif Armoricaïn. Ann. Agron., **21**, (5), 587-601.

KEROUANTON M., 1974. Les carences en oligoéléments en Bretagne. Résultat d'enquête et prophylaxie mise en place. Colloque "Carences en oligoéléments". Clermont-Ferrand 15-17/10/74. A paraître.

LAMAND M., 1972. Maladies de carences en oligoéléments. In MORNET P. Les maladies animales. Leur incidence sur l'économie agricole. Ed. S.P.E.I., 261-270.

LAMAND M., PERIGAUD S., 1973. Carences en oligoéléments chez les ruminants en France. I. Eléments d'enquête obtenus dans la pratique vétérinaire. Ann. Rech. Vétér., **4**, (4), 513-534.

LAMAND M., PERIGAUD S., BELLANGER J., 1973. Enquête sur la fréquence et la répartition géographique des carences en oligoéléments en France. Cah. Méd. Vétér., **42**, (4), 155-175.

PEDRO G., DELMAS A.B., 1970. Les principes géochimiques de la distribution des éléments traces dans les sols. Ann. Agron., **21**, (5), 483-518.

PERIGAUD S., 1971. Liaisons carencielles entre sols-végétaux et animaux. Ann. Nutr. Alim., **25**, B327-B378.

PERIGAUD S., 1973. Les carences en oligoéléments chez les ruminants en France et, en particulier dans la région Centre-Auvergne-Forez (Résultats d'enquête). Public. A.C.A.F. - I.N.R.A. Crouelle - Clermont-Ferrand.

PERIGAUD S., BELLANGER J., LAMAND M., 1972. Les oligoéléments dans les foin en France. Fourrages, **52**, 11-37.

PERIGAUD S., LAMAND M., 1973. Carences en oligoéléments chez les ruminants en France. II. Eléments d'enquête obtenus dans les élevages. Ann. Rech. Vétér., **4**, (4), 535-563.



DISCUSSION

M. ROCHET — Il y a beaucoup de blancs sur la carte des sols. Envisagez-vous de la compléter ?

Mme PERIGAUD — Le but de notre travail était de préciser s'il y avait ou non des carences possibles en France et où elles risquaient de se situer. Nous considérons que notre enquête répond à la question. Nous pourrions la compléter mais nous retomberions sur le même résultat ; il y a des carences à peu près partout en France. Par l'enquête des vétérinaires, l'ensemble de la France se trouve à peu près couvert. Ce qui reste en blanc sur la carte correspond aux endroits où il n'y a pas d'élevages (Sud-Est par exemple).

M. MANDRON — Quand nous avons participé à votre enquête, nous avons choisi des exploitations où l'on avait relevé des symptômes de carences ou de subcarences. En effet, les résultats obtenus après dosages au niveau des fourrages ont confirmé la subcarence dans cette partie du Sud-Ouest du Calvados. A l'époque, je travaillais sur le parasitisme et il s'agissait d'exploitations très parasitées. Est-ce une coïncidence locale ou retrouvez-vous cette liaison au niveau de votre enquête ?

Mme PERIGAUD — Dans la seconde partie du questionnaire remis à l'éleveur, nous avons inclus des questions sur l'exploitation pour essayer de mettre en évidence des relations entre symptômes de carences et conditions d'exploitation, le parasitisme y était inclus. Ce travail énorme n'a pu malheureusement être exploité à l'échelon national. D'une part les réponses étaient trop disparates et d'autre part nous avons obtenu des réponses bien régionalisées. Quant au parasitisme, on sait qu'un régime carencé en un de ses éléments favorise le développement du parasitisme. Ceci est visible par exemple dans la carence en cobalt.

M. SAUVANT — Les interrelations obtenues lors de l'enquête animale sont-elles de vagues tendances ou bien sont-elles très étroites ? Pouvez-vous nous donner le nombre d'échantillons de vos trois enquêtes, les parts de variance expliquées sur les plans principaux des analyses factorielles que vous avez faites. D'autre part, je pense que vous avez utilisé l'analyse des correspondances, c'est une méthode qui a ses partisans et ses détracteurs. Avez-vous essayé d'autres méthodes pour voir la reproductibilité des résultats ?

Mme PERIGAUD — Nous avons reçu 300 réponses de vétérinaires (chacune correspond à environ 3000 bovins) et 600-700 réponses d'éleveurs réparties de façon moins homogène, chaque éleveur décrivant entre 10 et 50 animaux ; soit 13000 vaches et 7000 à 8000 ovins, tous les animaux n'étant pas, bien heureusement, malades. Nous avons dosé 500-550 prairies naturelles et 800 autres échantillons d'aliment.

Dr. LAMAND — Nous avons environ 50% de la variance expliqués par le premier facteur et ensuite le pourcentage baisse rapidement. L'enquête vétérinaire a fourni 1800 profils, c'est-à-dire 1800 descriptions différentes. Chaque questionnaire contenait souvent plusieurs profils par catégorie d'animaux.

Mme PERIGAUD — Du point de vue méthodes, nous avons mis en comparaison cette analyse factorielle des correspondances et les tests de χ^2 qui étaient calculés sur les moyennes par région et non par département. Chaque région correspondait à un sol déterminé relativement homogène. L'analyse par test χ^2 a un très gros inconvénient car elle consiste à comparer la moyenne d'une région à la moyenne nationale. Si nous avons une carence à l'échelon national, il est évident que le test χ^2 ne permettra pas d'isoler une région si celle-ci est également carencée. On a donc préféré utiliser l'analyse factorielle des correspondances qui nous permettait de sortir les secteurs qui s'étaient révélés appartenir à tel regroupement de symptômes et ceci sans faire d'hypothèse préalable sur les groupements géographiques.

Dr. LAMAND — Nous avons retesté chaque profil pour vérifier qu'il avait bien les symptômes annoncés par l'analyse. Autrement dit, si par hasard il avait présenté 2 symptômes éloignés sur le graphique, il se serait trouvé à mi-distance de ces 2 symptômes et aurait été pris par erreur dans un paquet auquel il n'appartenait pas.

Dr. GANSEL — Vous avez décrit dans votre étude sept oligoéléments. En existe-t-il d'autres dont on connaît le rôle et les symptômes de carence s'y rattachant ?

Mme PERIGAUD — Pour les sept oligoéléments étudiés, on connaît leur rôle et surtout les carences ont été décrites dans les différentes parties du monde. C'est par ceux-ci que nous avons commencé. Il en existe d'autres qui ne semblent pas présenter une réelle importance pour les ruminants.

LES CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS DANS LE FINISTERE : RESULTATS D'ENQUETE ET PROPHYLAXIE MISE EN PLACE

J.KEROUANTON

E.D.E. du Finistère
21 Quai de Cornouaille
29207 LANDERNAU

En 1948, COÏC découvrit la carence en manganèse sur céréales en Bretagne. Puis ce fut COPPENET, Directeur de la Station d'Agronomie de Quimper, qui découvrit en 1952, la carence en cuivre sur céréales, trèfle violet et petits pois dans les régions granitiques et gréseuses.

Vers 1960, des carences en cuivre et manganèse ont été observées sur des bovins, selon les symptômes décrits par GRASHUIS, lors d'un rallye organisé dans plusieurs élevages.

En 1962, la section bretonne de l'A.F.P.F. organisait une journée d'étude sur les "maladies nutritionnelles des bovins à l'herbe", avec la participation de plusieurs chercheurs de l'I.N.R.A. Les oligo-éléments (cuivre, manganèse...) étaient mis en cause dans plusieurs maladies de carence observées. Par ailleurs, il apparaissait que l'intensification fourragère qui se développait en Bretagne depuis quelques années était accusée d'une façon globale d'être à l'origine d'un certain nombre de maladies nutritionnelles et de cas d'infécondité ; ceux-ci semblaient devenir de plus en plus fréquents chez les vaches laitières.

Il fut alors décidé de réaliser une enquête dans le but d'apprécier les facteurs d'ordre nutritionnel qui interviennent sur la fécondité des vaches laitières. L'enquête, qui a porté sur 140 élevages pendant 2 ou 3 ans, a été réalisée par la Maison de l'Elevage, avec l'appui des divers services du département, la Société des Potasses et surtout, avec la collaboration de la Station d'Agronomie de Quimper, pour l'analyse des sols et des fourrages (plus de 500 analyses de fourrages). L'exploitation des résultats a été réalisée avec l'appui méthodologique de l'I.N.R.A (MM. BROCHART et MOULE) et de l'Union Nationale des Maisons de l'Elevage.

En 1968-1969, le développement de l'ensilage de maïs conduisit à des manifestations de carences en zinc dans des ateliers de taurillons et de porcs. COPPENET entreprit de 1969 à 1972 des analyses systématiques des maïs produits dans la région (environ 200 analyses sur le Finistère).

I TENEUR DES FOURRAGES EN OLIGO-ELEMENTS

Le tableau I résume les teneurs moyennes en oligo-éléments observées sur les principaux fourrages utilisés dans le Finistère. Les analyses ont été réalisées par la Station d'Agronomie de Quimper de 1963 à 1972.

Tableau I Teneurs moyennes en oligo-éléments des fourrages du Finistère

Oligo éléments	Foins de graminées	Herbe au stade pâture	Ensilage de maïs P.E.	Crucifères	Betteraves	Besoins des bovins
	280	150	200	25	16	
Cuivre	4,0 - 4,4	5,3 - 6,3	4,0 - 5,0	3,8	5,4	10
Manganèse	115 - 140	105 - 115	24 - 37	30	60	50
Zinc	20	20 - 30**	22 - 28	35	33	100
Cobalt	0,15 - 0,18*	0,10 - 0,15	0,018 - 0,032	0,07	0,08	0,1
Fer	150*	150	90 - 150	—	—	50
Molybdène	0,70 - 0,90	1,1 - 1,3	0,18 - 0,25	0,70	0,15	—
* Présence de terre par suite de récolte mécanique				** selon le stade		

Les teneurs en cobalt et fer sont nettement plus faibles sur échantillons non souillés. La présence de 2 chiffres situe les écarts observés entre les teneurs moyennes annuelles.

Tableau II - Répartition des teneurs en cuivre, cobalt et manganèse dans les échantillons de foin et d'herbe. (1964 - 1965 - 1966).

Oligo-éléments	Classes (mg/kg MS)	Foins de graminées	Herbe au stade pâture
Cuivre	< 2	2,9 %	2,7 %
	2 - 4	37,2	16,5
	4 - 6	45,2	37,7
	6 - 8	12,2	26,7
	≥ 8	2,5	16,4
Cobalt	< 0,1	18,5	50,0
	0,10 - 0,15	22,6	33,7
	0,15 - 0,20	24,3	6,3
	0,20 - 0,25	25,5	5,0
	≥ 0,25	9,1	5,0
Manganèse	< 50	6,9	4,1
	50 - 100	32,2	42,8
	100 - 150	30,4	35,9
	150 - 200	27,8	7,6
	≥ 200	12,7	9,6

Il est intéressant d'analyser la répartition des teneurs en cuivre, cobalt et manganèse observées dans les herbes et les foins prélevés lors de l'étude "Alimentation-fertilité" (tableau II).

Compte tenu des besoins des bovins en oligo-éléments, l'analyse des résultats conduit aux observations suivantes :

- . les besoins en fer sont toujours couverts : les teneurs les plus faibles observées dans les herbes se situent à 60 mg/kg de M.S.

- . les besoins en manganèse sont généralement couverts au pâturage : 4% des herbes seulement n'atteignent pas 50 mg Mn/kg MS (herbes produites sur sols riches en matières organiques et fortement chaulés). Toutefois, les maïs et les crucifères dont les teneurs en manganèse varient de 15 à 65 ppm présentent le plus souvent des teneurs insuffisantes.

- . les teneurs en zinc sont toujours insuffisantes dans les herbes, les foins, les maïs, les crucifères et les betteraves. Les teneurs varient de 15 à 35 ppm dans les maïs, 17 à 45 dans les herbes au stade pâture et de 10 à 33 dans les Ray-Grass d'Italie épiés ou les foins. Des carences importantes ou des insuffisances en zinc sont donc à craindre dans la plupart des élevages.

- . les teneurs en cuivre sont faibles dans tous les fourrages, et particulièrement dans les foins, les maïs et les crucifères. 40% des foins et 19% des herbes ont des teneurs en cuivre inférieures à 4 mg par kg de M.S. Si la ration contient du maïs ou des crucifères, il y a risque de carence en cuivre dans la plupart des exploitations.

- . les teneurs en cobalt sont nettement insuffisantes dans les maïs, la plupart des crucifères et des betteraves et 50% des herbes. La présence de terre dans les foins expliquerait que leurs teneurs soient plus élevées que celles des herbes. Les carences en cobalt accompagnent le plus souvent les carences en cuivre.

Les teneurs en molybdène ne posent généralement pas de problèmes : seulement 3% des herbes et foins dépassent le seuil critique de 3 ppm qui pourrait accroître les besoins en cuivre.

II OLIGO-ELEMENTS ET FERTILITE : RESULTATS D'ENQUETE

L'enquête "Alimentation-fertilité" des vaches laitières a été réalisée sur le terrain de 1964 à 1966. Les enregistrements ont porté sur les critères suivants :

- . nature, caractéristiques, consommations et composition chimique des fourrages,
- . nature, composition chimique et fertilisation des sols,
- . production mensuelle de chaque vache et consommation en concentrés et minéraux,
- . critères de reproduction et interventions vétérinaires,
- . observations réalisées par les techniciens lors de leurs passages.

Les résultats qui concernent les relations oligo-éléments-fertilité ne constituent qu'un volet de l'étude alimentation-fécondité.

Pour bien mesurer la fécondité d'un troupeau, il est nécessaire d'utiliser plusieurs critères :

- . l'intervalle vêlage-première insémination (V-S₁)
- . le nombre d'inséminations pour obtenir une fécondation (S/F)
- . l'intervalle première insémination-insémination fécondante (S₁ - (S_F))
- . le nombre de vaches stériles.

Pour plus de commodité au niveau de l'exploitation des résultats, nous avons été amenés à définir un "indice global de fertilité" ou I.G.F., qui englobe ces différents critères de fertilité.

Tableau III Définition de l'I.G.F.

S/F Nombre	1	2	2 ou 3	2, 3 ou 4	≥ 2	X
S₁ - S_F V-S₁	0	1 à 24 j	25 à 47 j	48 à 68 j	>68 j	Vaches stériles
<50 j	1	1	2	3	4	5
50 à 90 j	1	2	3	3	4	5
>90 j	2	2	3	3	4	5

Les élevages ont été répartis en trois classes en fonction des teneurs dominantes en manganèse, cuivre et cobalt, observées dans les sols et surtout les fourrages (les dosages de zinc ont été réalisés ultérieurement). Une note de synthèse a été attribuée à chaque élevage en fonction de l'élément le plus déficient : le plus souvent le cuivre, et rarement le manganèse. On obtient la répartition suivante :

Note 1 : bonnes teneurs en oligo-éléments : 9,4% des élevages
Note 2 : teneurs moyennes " : 45,6% "
Note 3 : teneurs faibles " : 45 % "

1 - Influence de la teneur en oligo-éléments sur la fertilité des vaches laitières.

Sur les vaches non complémentées en oligo-éléments, il existe une liaison hautement significative entre la teneur des fourrages en oligo-éléments et la fertilité, indépendamment du niveau de fumure azotée. Toutefois, le tableau IV montre qu'avec de faibles teneurs en oligo-éléments, la fécondité est d'autant plus mauvaise que la fumure azotée est élevée et particulièrement au printemps.

Tableau IV : Influence de la teneur en oligo-éléments des fourrages sur l'I.G.F. en fonction de deux niveaux de fumure azotée

Fumures azotées annuelles	Teneurs des fourrages en oligo-éléments	I.G.F. (en % de l'effectif correspondant)		Effectifs totaux V.L.
		1	4 et 5	
Faibles. < 100 N/ha	1 - Bonnes *	56,4%	6,4	78
	2 - Moyennes	50,1	17,9	435
	3 - Faibles **	47,6	20,3	311
Elevées. > 200 N/ha	1 - Bonnes	56,7	6,7	30
	2 - Moyennes	42,1	18,7	252
	3 - Faibles	34,4	29,7	273
* Bonnes Cu > 6 ppm Mn > 80 ppm Co > 0,15 ppm		** Faibles Cu < 4 ppm Mn < 30 ppm Co < 0,04 ppm		

2 - Effet de la supplémentation en oligo-éléments sur la fertilité des vaches laitières.

Les premiers résultats d'analyses de fourrages ont conduit, dès la seconde année d'enquête à proposer aux éleveurs un composé minéral enrichi en oligo-éléments et en magnésium. Compte tenu des connaissances actuelles, la teneur en zinc du composé minéral utilisé était insuffisante (0,077% de Zn). Certains éleveurs ont utilisé des compléments enrichis seulement en cuivre, cobalt et iode. Au niveau de l'exploitation des résultats, nous avons considéré comme suffisantes les complémentations qui enrichissaient les rations en apportant au moins les quantités suivantes :

- . 6 mg de cuivre par kg de M.S.
- . 30 mg de manganèse par kg de M.S.
- . 0,10 mg de cobalt par kg de M.S.

Tableau V Influence de la complémentation en oligo-éléments sur la fertilité

I.G.F. Complé- mentation oligo-éléments	1	2	3	4 et 5	Effectifs totaux V.L.
1. Suffisante avant et après vêlage.	59,2%	20,1	11,4	9,3	333
2. Suffisante seulement après vêlage.	52,7	22,9	9,4	15,0	630
3. Très faible ou nulle	47,4	21,8	11,9	18,9	1442

Le tableau V montre que, d'une manière générale, la complémentation en oligo-éléments permet de réduire de moitié les cas graves d'infécondité (effet hautement significatif). Il apparaît que la supplémentation doit être réalisée avant et après le vêlage, soit au minimum, du tarissement à l'insémination.

La complémentation en oligo-éléments paraît efficace quel que soit le niveau de fumure azotée (tableau VI). En cas de fumure azotée élevée, une bonne complémentation en oligo-éléments permet d'obtenir un niveau de fertilité presque comparable à celui obtenu avec de faibles fumures azotées.

Tableau VI :

Influence de la complémentation en oligo-éléments sur la fertilité en fonction du niveau de fumure azotée

Fumures azotées annuelles	Complémentation oligo-éléments	I.G.F. (en % de l'effectif correspondant)				Effectifs totaux V.L.
		1	2	3	4 et 5	
1. Faibles. < 100 N/ha	1. Avant et après vêlage.	56,3	18,8	17,2	7,7	64
	2. Après vêlage.	60,4	19,8	6,3	13,5	96
	3. Nulle	48,0	22,5	10,9	18,6	560
4. Elevées. > 200 N/ha	1. Avant et après vêlage.	59,7	17,6	10,7	12,0	159
	2. Après vêlage.	53,4	22,6	9,0	15,0	266
	3. Nulle	40,9	25,6	12,2	21,3	254

Le tableau VII permet d'apprécier l'effet de la supplémentation en oligo-éléments en fonction de la teneur des fourrages en oligo-éléments. Si les teneurs sont satisfaisantes, l'amélioration de la fertilité apportée par la complémentation n'est pas significative. Avec des teneurs faibles ou moyennes la supplémentation en oligo-éléments avant et après vêlage est indispensable.

Tableau VII :

Fertilité et complémentation en oligo-éléments en fonction de la teneur des fourrages en oligo-éléments

Teneurs des fourrages en oligo-éléments	Complémentation en oligo-éléments	I.G.F. (en % de l'effectif correspondant)		Effectifs totaux V.L.
		1	4 et 5	
1. Bonnes. Cu > 6 ppm Mn > 80 ppm Co > 0,15 ppm	1. Satisfaisante avant et après vêlage	63,6	13,7	44
	2. Seulement après vêlage.	46,2	19,1	78
	3. Nulle	51,9	14,1	162
2. Moyennes.	1. Satisfaisante avant et après vêlage.	59,3	8,8	135
	2. Seulement après vêlage	54,3	14,2	289
	3. Nulle	49,2	17,7	673
3. Faibles. Cu < 4 ppm Mn < 30 ppm Co < 0,07 ppm	1. Satisfaisante avant et après vêlage.	57,8	8,5	154
	2. Seulement après vêlage.	53,2	14,9	263
	3. Nulle	44,3	21,3	607

Si les teneurs en oligo-éléments des fourrages sont faibles, le pourcentage de vaches ayant des chaleurs normales tend à diminuer (tableau VIII).

Tableau VIII :

Influence de la teneur des fourrages en oligo-éléments sur le taux de vaches à chaleurs normales non complémentées en ces éléments

Teneurs des fourrages	Vaches à chaleurs normales %	Effectifs totaux
1. Bonnes. Cu > 6 ppm Mn > 80 ppm Co > 0,15 ppm	78,0	287
2. Moyennes.	72,4	1154
3. Faibles. Cu < 4 ppm Mn < 30 ppm Co < 0,07 ppm	70,6	1305

La complémentation en oligo-éléments avant et après vêlage permet d'accroître sensiblement le pourcentage de vaches ayant des chaleurs normales, ce qui ne peut qu'être favorable à une bonne fertilité ultérieurement. L'amélioration constatée au niveau des chaleurs est du même ordre que celle constatée au niveau de la fertilité (tableau IX).

Tableau IX :

Influence de la complémentation en oligo-éléments sur le taux de vaches à chaleurs normales

Complémentation	Vaches à chaleurs normales %	Effectifs totaux
1. Bonne avant et après vêlage	82,6	340
2. Seulement après vêlage	79,7	645
3. Nulle	71,7	1452

3 - Influence de la teneur en oligo-éléments des fourrages sur la fertilité des génisses.

Pour apprécier la fertilité des génisses, 3 classes ont été établies :

- 1 - très bonne fertilité : génisses fécondées à la première intervention
- 2 - fertilité moyenne : génisses dont l'intervalle S1 - SF se situe entre 1 et 68 jours
- 3 - mauvaise fertilité : S1 - SF > 68 jours et génisses stériles

Cette dernière classe est celle qui présente le plus d'intérêt au niveau de l'étude.

Tableau X :
Influence de la teneur des fourrages en oligo-éléments sur la fertilité des génisses non complémentées en ces éléments

Teneurs en oligo-éléments \ Fertilité	Très bonne	Moyenne	Mauvaise	Total %	Effectifs totaux
Moyennes	59%	21	20	100	343
Faibles Cu < 4 ppm Mn < 30 ppm Co < 0,07 ppm	45	22	33	100	315

L'étude ne comporte pas des génisses élevées dans des exploitations dont les fourrages présentent de bonnes teneurs en oligo-éléments. Le tableau X montre que de faibles teneurs en oligo-éléments entraînent une très mauvaise fertilité si les génisses ne sont pas complémentées en oligo-éléments.

Cependant, dans les exploitations intensives, il est difficile de faire la part qui revient aux oligo-éléments, car la teneur des fourrages en magnésium semble être un facteur limitant (tableau XI).

Tableau XI :
Teneurs des fourrages en magnésium et oligo-éléments et fertilité des génisses dans les exploitations intensives.
(> 200 N/ha)

Teneurs en Mg	Teneurs en oligo-éléments	Fertilité (en % de l'effectif correspondant)			Effectifs totaux
		Très bonne	Moyenne	Mauvaise	
Moyennes 1,5 à 2 g/kg MS	Moyennes	60	23	17	65
	Faibles	41	29	30	70
Faibles <1,5 g/kg MS	Moyennes	36	26	38	58
	Faibles	37	20	43	113

Ce tableau montre cependant, que le rôle des oligo-éléments est loin d'être négligeable en exploitations intensives, et que lorsque les fourrages sont pauvres en magnésium et en oligo-éléments, la fertilité devient catastrophique. Un apport de minéraux enrichis en magnésium et en oligo-éléments rétablis un très bon niveau de fertilité (tableau XII).

Tableau XII :
Influence d'un composé minéral enrichi en magnésium et oligo-éléments sur la fertilité des génisses dans les exploitations intensives.

Complémentation minérale \ Fertilité	Très bonne	Moyenne	Mauvaise	Total %	Effectifs totaux
Nulle	40%	23	37	100	227
Insuffisante	59	23	18	100	56
Satisfaisante	69	25	6	100	118

En conclusion, de faibles teneurs en oligo-éléments entraînent une baisse de fertilité des vaches et des génisses. Cette baisse de fertilité est accentuée si l'éleveur emploie de fortes fumures azotées. L'emploi d'un composé minéral enrichi en magnésium et en oligo-éléments permet de réduire de moitié les cas d'infécondité et de rétablir un niveau satisfaisant de fertilité. L'emploi simultané de magnésium et d'oligo-éléments dans de nombreux élevages rend toutefois assez difficile l'appréciation de la part de l'amélioration imputable à l'apport d'oligo-éléments.

III AUTRES MANIFESTATIONS DE CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS

Les insuffisances en oligo-éléments entraînent de sérieuses perturbations au niveau de la fertilité, mais d'autres observations recueillies dans les élevages carencés méritent d'être signalées :

- . Avortements : le taux d'avortements est de 1,5% avec de bonnes teneurs en oligo-éléments, et de 2,8% avec de faibles teneurs. En fait des avortements en série, mais non infectieux, ont été observés dans des exploitations très carencées en cuivre et en cobalt,

- . veaux morts-nés ou chétifs ;

- . malformation de veaux à la naissance ;

- . chutes de taux butyreux : des taux butyreux descendent jusqu'à 11 et 12% dans un élevage et remontent à 35 - 40% après apport d'oligo-éléments, la ration de base étant normale par ailleurs ;

- . diarrhées persistantes chez les vaches, puis chez leurs veaux en toutes saisons ;

- . dépigmentation : le poil est souvent roux sur les vaches pie noire, mais il n'y a pas toujours de dépigmentations : le poil est terne, "piqué" et souvent hérissé, laineux ;

- . mauvaise ossification, malformations des membres : animaux hauts sur pattes, jarrets droits et raides, enflures du boulet et du paturon, boiteries ;

- . dans plusieurs cas, on rencontre des veaux femelles qui ont un développement anormal de la tête (plusieurs cas rencontrés dans trois exploitations) ;

- . tendance à manger de la terre et à rechercher les plantes "sauvages" en priorité ;

- . production laitière inférieure au potentiel des animaux ;

- . croissances anormalement lentes et aspect lamentable des animaux.

Ces manifestations de carences ont pratiquement disparu (à l'exception des boiteries) après apport d'oligo-éléments. L'aspect de certains troupeaux s'est complètement modifié en l'espace de 2 - 3 mois. De même, en changeant d'exploitation des vaches ont changé de pelage et sensiblement augmenté leur production. D'une façon générale, après supplémentation, le poil est devenu luisant et son renouvellement est intervenu plus tôt.

IV DIFFUSION DES COMPOSES MINERAUX ENRICHIS EN OLIGO-ELEMENTS : LES "FORMULES OUVERTES"

Les analyses de fourrages et de composés minéraux réalisées par la Station d'Agronomie de Quimper, les résultats obtenus dans le cadre de l'étude "Alimentation-fertilité" et les effets des carences en zinc sur ateliers de taurillons et de porcs nourris au maïs ont conduit des groupes d'éleveurs à exiger de leurs fournisseurs des formules "ouvertes" pour les compléments minéraux, comme cela se pratique pour les engrais composés. Ce problème a fait l'objet de débats, en mai 69, à l'occasion d'une journée régionale d'information sur l'alimentation minérale des bovins et des porcs, organisée par l'Association Bretonne pour la production fourragère et la Maison de l'Elevage du Finistère, avec la participation des chercheurs de l'I.N.R.A. : MM. GUEGUEN - LAMAND - COPPENET - MOULE.

Des fabricants d'aliments se sont déclarés intéressés à fournir des compléments minéraux correspondant aux besoins de la région et à pratiquer la vente avec garanties et formules ouvertes. Des formules simples, peu nombreuses ont été élaborées et proposées par la Maison de l'Elevage aux fabricants de composés minéraux.

Dans le même temps, une campagne de sensibilisation des éleveurs à l'utilisation de compléments minéraux à formule "connue" a été développée par la presse et par l'intermédiaire des conseillers agricoles.

Le résultat de cette double action s'est révélé nettement positif :

- la plupart des fabricants de la région ont adopté ou du moins se sont rapprochés des "formules types" qui leur étaient proposées, même si pour une question de législation actuelle, à notre avis inadaptée aux besoins de l'élevage, la "formule ouverte" ne s'est pas imposée.

- les éleveurs ont utilisé des compléments minéraux en quantités beaucoup plus importantes que par le passé, c'est ainsi qu'une coopérative régionale qui avait commercialisé en l'état 60 à 70 tonnes de compléments minéraux au cours de la campagne 64-65 en a commercialisé près de 2500 tonnes au cours de la campagne 71-72.

- cette augmentation des ventes s'est aussi traduite par une baisse très nette des prix : "les formules ouvertes" ont ainsi débouché sur la vérité des prix !

Actuellement, les carences en oligo-éléments sur bovins paraissent en nette régression malgré l'extension du maïs et des fortes fumures azotées sur ray-grass. Mais tous les problèmes ne sont pas résolus :

- . les systèmes fourragers intensifs basés sur l'herbe et le maïs exigent en permanence l'emploi d'un composé minéral enrichi en magnésium et en oligo-éléments. Si l'on veut compléter sérieusement les vaches en fin de lactation et les taries sans distribution inutile de concentrés, il faut séparer le composé minéral de l'aliment concentré : le composé minéral enrichi en oligo-éléments doit faire partie de la ration de base. L'aliment complémentaire sera simplement enrichi en carbonate de calcium et en sel.

- . la plupart des aliments complémentaires pour vaches laitières livrés par le "commerce" apportent des minéraux qui font double emploi avec le composé minéral apporté en ration de base. C'est le cas en particulier lorsque les éleveurs incorporent un composé minéral, avec ou sans urée, à l'ensilage de maïs : s'ils distribuent ensuite un aliment complémentaire du maïs aux bonnes laitières, celles-ci consomment des quantités excessives de minéraux (jusqu'à 700-800 g par vache et par jour !). Quel intérêt présente alors un dosage minutieux du composé minéral en oligo-éléments si ceux-ci entrent dans la ration par deux voies qui le plus souvent s'ignorent ! La fabrication actuelle des compléments pour vaches laitières ne semble pas adaptée aux systèmes fourragers intensifs : va-t-on passer d'une situation de carence à une situation de déséquilibre par excès de certains minéraux tels que le phosphore et les oligo-éléments ?

DISCUSSION

M. REDLICH — J'ai été étonné par les chiffres obtenus dans le deuxième tableau. En effet, sauf pour le manganèse, les teneurs obtenues pour l'ensilage de maïs sont plus élevées que celles de l'herbe. Je pensais que l'ensilage de maïs était plus pauvre. Vous avez dit que vous aviez 50% de réussites donc vous avez 50% d'échecs. Pensez-vous que le phosphore, qui joue un très grand rôle dans la nutrition des animaux, n'ait pas pu interférer ?

Mme PERIGAUD nous a dit que le dosage du cobalt dans les fourrages avait posé des problèmes ; c'est exact, nous les connaissons aussi. Pensez-vous que ce dosage soit nécessaire pourvu que la ration soit suffisante en cobalt ?

Dr. BROCHART — M. KEROUANTON pouvez-vous répondre essentiellement à la première question, les réponses aux deux autres questions étant apportées dans la suite du colloque.

M. KEROUANTON — Les teneurs en cuivre de l'ensilage de maïs sont du même ordre que celles des foin et légèrement inférieures à celles de l'herbe au stade pâture. Pour le manganèse on est plus bas, pour le zinc au même niveau. Le cobalt uniquement est à un niveau inférieur.

M. COUDURIER — M. KEROUANTON ne nous a pas dit sous quelle forme on distribuait le condiment minéral (la formule ouverte) ; s'il était adjoint à la ration de base ou en libre service et quelle était la quantité consommée ?

M. KEROUANTON — Il s'agissait de composé minéral distribué, soit sur la ration de base (par exemple des betteraves), rarement sur du maïs, car à l'époque il y en avait très peu, ou de composés minéraux apportés en pourcentage de l'aliment complémentaire. Nous avons utilisé essentiellement ces deux présentations. Le libre service a été utilisé avec des génisses et dans certains cas on a noté des consommations moyennes de 50-60 g de minéraux par génisse et par jour. C'est cette base que l'on a retenue pour considérer qu'une complémentarité était suffisante pour des génisses. La forme d'apport des oligo-éléments était classique : sulfates de cuivre, cobalt, manganèse et magnésie calcinée.

Dr. SOIROT — Quels sont les critères cliniques retenus pour juger la fertilité des vaches ?

M. KEROUANTON — En fait, nous avons surtout analysé les retards de fécondation, les différentes interventions vétérinaires ont été notées mais on n'a pas toujours eu suffisamment de précisions, les notions de kystes et de corps jaunes étaient plutôt floues.

Dr. SOIROT — Cela me semble grave parce que c'est fondamental. Il faudrait aussi savoir avant l'administration des oligoéléments quels étaient les pourcentages d'accouchements avec de mauvaises contractions utérines, quels étaient les pourcentages de délivrances naturelles ou pas, quels étaient les pourcentages des interventions manuelles et dans quelles conditions d'hygiène. On a constaté, dans des troupes de vaches laitières que ces facteurs ont une incidence considérable sur la fertilité du troupeau. Ils peuvent faire varier de 20 à 30 % les statistiques sur la fertilité par leur seule action sans tenir compte des oligoéléments.

M. KEROUANTON — Au départ de l'enquête, nous avons souhaité recueillir toutes ces informations. En fait, il n'y a que quelques vétérinaires qui ont consigné leurs interventions, dans les autres cas, nous n'avons pas eu la possibilité d'en prendre connaissance. Dans d'autres études nous avons noté les déroulements des vélages, les non-délivrances, les métrites et nous avons analysé la fécondité ultérieure en fonction de ces paramètres : après non-délivrance, nous avons noté sur 218 cas étudiés que 33% des vaches sont fécondées en première insémination et que 32% des vaches ont de graves problèmes de fécondation ou restent stériles.

Dr. ANDRIES — Avez-vous comparé de façon véritable la fertilité des taureaux ?

M. KEROUANTON — Non. Il y a des observations d'éleveurs qui sembleraient montrer qu'il y a des pistes de ce côté-là. Mais je pense que, sur la durée de l'enquête et vu les effectifs concernés, c'est un facteur qui n'a pas dû être déterminant.

M. DUBOIS — Sur l'ensemble des enquêtes effectuées par M. KEROUANTON, Mme PERIGAUD et M. LAMAND, avez-vous établi une relation entre les maladies infectieuses et certaines carences.

M. KEROUANTON — En ce qui nous concerne, on avait relevé les différentes affections. Il faut signaler que l'on a éliminé, au départ, les troupes brucelliques ou présentant une fréquence anormale de métrites. On a essayé de travailler sur un milieu sain. Il y a eu ensuite des infections mais au niveau de l'exploitation on n'en a rien retiré.

Dr. BROCHART — On ne peut répondre à cette question qu'en se plaçant dans des conditions expérimentales très précises. Dans les conditions du terrain il y a de telles interactions, tellement de facteurs non contrôlés, qu'il est pratiquement impossible de répondre. Seules les expériences très rigoureuses permettront, en maîtrisant les facteurs alimentaires, en analysant les mécanismes immunitaires, d'apporter une réponse.



ANALYSE QUALITATIVE "ENGRAIS MAIS"		ANALYSE QUANTITATIVE "ENGRAIS MAIS"	
Proteine	10,5	Proteine	10,5
Cellulose	2,5	Cellulose	2,5
Amidon	1,5	Amidon	1,5
Gras	0,5	Gras	0,5
Minerale	0,5	Minerale	0,5
Humide	0,5	Humide	0,5
Acide	0,5	Acide	0,5
Alcalin	0,5	Alcalin	0,5
Neutral	0,5	Neutral	0,5
...	...	...	...

CAS CONCRET DE CARENCE EN CUIVRE OBSERVEE DANS UN TROUPEAU LAITIER

M.CROSSET-PERROTIN

Détaché S.C.P.A.

C.R.Z.V. THEIX
63110 BEAUMONT

I SITUATION

Dans une exploitation agricole du Sud-Ouest située près de PAU (à BOEIL BOZIN, Pyrénées-Atlantiques), au cours de l'hiver 1969-70, un troupeau de 60 vaches laitières de race Frisonne Française Pie Noire était alimenté avec l'ensilage de maïs plante entière. Ce fourrage, dont la teneur en matière sèche variait de 34 à 44%, était offert en libre service à l'auge ad libitum et constituait la ration de base. Cette ration était complémentée par un apport de 2 kg de luzerne déshydratée et un aliment concentré du commerce distribué en salle de traite en fonction de la production laitière (au-dessus de 12 kg de lait).

Troupeau en stabulation libre
Niveau de production 4 500 kg
Conservation du fourrage Silo Harvestore

A partir du mois de janvier l'appétit des vaches a diminué progressivement. La consommation moyenne de l'ensilage de maïs est passée de 12 à 7 kg de matière sèche par jour et par vache. Ensuite les animaux allant jusqu'à refuser de consommer - en partie - l'aliment concentré, la production laitière qui atteignait 15 kg par jour et par vache s'est abaissée à près de 10 kg.

II HYPOTHESES

Devant ce problème posé plusieurs hypothèses ont été envisagées.

1. Mauvaise qualité de l'ensilage de maïs ?

Tableau I ANALYSE QUALITATIVE "ENSILAGE MAIS"

Teneur en M.S. 43,9%			
pH	4,1		
		Sur Brut	Sur M.S.
Ac. lactique	en g/kg	19,4	44,2
Ac. acétique	"	22,8	51,9
Ac. butyrique	"	0	0
N-NH3	"	0,51	1,16
N Total	"	4,35	9,9
M.A.T. (Nx6,25)	en %	2,72	6,2
N-NH3 en % N total		11,7	—

Teneur élevée en M.S.
" en Ac. acétique

Après consultation de mes collègues du CRZV de Theix (M. Demarquilly), ce n'est pas une réponse explicative même avec une teneur élevée en acide acétique.

2. Déséquilibre de la ration en matières azotées ou éléments majeurs (P, Ca...) ?

Après étude de la ration, ce n'est pas une réponse satisfaisante.

3. Maladie parasitaire ou infectieuse ?

Le troupeau est suivi sanitaire et la réponse est non.

Le problème restant d'ordre nutritionnel une visite à l'exploitation le 11 Février 1970 permet de constater l'état déplorable du troupeau.

Après une observation détaillée nous constatons :

- un amaigrissement des animaux.
- une démarche anormale (certains animaux marchant à l'amble, c'est-à-dire déplacent les membres d'un même côté à la fois) avec le dos voûté.
- des boiteries et parfois un piétinement sur place (les animaux se déplacent lentement et avec difficulté).
- une coloration des poils rougeâtre et une décoloration accentuée autour des yeux (lunettes) et en bordure des taches noires.
- une cachexie généralisée mais à des degrés variables suivant les animaux (1/5 sont fortement atteints).
- difficulté d'insémination et augmentation de l'intervalle vêlage-fécondation.

4. Hypothèse, compte tenu :

- a) des symptômes observés sur les animaux (voir exposé du Dr LAMAND),
- b) de l'analyse des sols de la région.

Il s'agit d'anciens sols de touyas (fougères) remis en culture et qui reposent ici sur les alluvions anciennes de PONT LONG (Nord-Ouest de PAU). Ce sont des sols légers, acides, carencés en chaux, P₂O₅, potasse, parfois en cuivre avec une forte accumulation en matière organique à rapport carbone/azote élevé. Après correction convenable du sol, les rendements des cultures (maïs, pommes de terre, prairies) sont aussi élevés que sur les autres terres (D. BARGELE).

TABLEAU II ANALYSE DE SOL (0 - 20 cm)

Analyse physique			Analyse chimique		
Eléments grossiers	> 2 mm	000 p. 1 000	P ₂ O ₅ (citrique)		0,11 p 1000
Limons	(0,02 à 0,002 mm)	310 "	CaO échangeable		0,78 "
Argiles	<0,002 mm	208 "	K ₂ O	"	0,13 "
pH à l'eau	5,1		Mn	"	1,0 ppm
Azote total N		2,5 "	Cu Oxalique		0,5 "
Carbone C		33,3 "	Zn		1,8

Limon argilo-sableux acide C/N élevé
Teneur faible en P₂ O₅ et K₂ O
Teneur faible en cuivre

- c) de l'analyse du maïs fourrage.

Cette analyse du maïs fourrage indique une faible teneur en cuivre de l'ensilage (4,5 ppm) ; la probabilité d'une carence en cuivre a été envisagée et le traitement suivant a été préconisé : apporter 4 kg de sulfate de cuivre dans 1 kg d'orge broyé par vache et par jour pendant 10 jours, distribué en salle de traite avant tout autre repas, (l'apport dans l'eau de boisson ou par arrosage du maïs fourrage n'a pas été retenu).

Tableau III ANALYSE MINERALE "ENSILAGE MAIS"

P	en g/kg M.S.	2,5	Mn	en mg/kg M.S.	32
Ca	"	3,0	Zn	"	22
Mg	"	1,1	Cu	"	4,5
K	"	9,0	Teneur très faible en zinc et en cuivre,		
Na	"	0,2			
S	"	2,2			

III RESULTATS

Après une semaine il a été constaté une nette amélioration de l'état général du troupeau et de l'appétit des animaux. Ensuite, pour des **raisons pratiques essentiellement**, le maïs ensilage a été complémenté directement à la sortie du silo avec un correcteur minéral et azoté (RUMIPEC : 50% minéraux, 50% urée) sur la base de 3 kg pour 100 kg de matière sèche.

Tableau IV ANALYSE "ENSILAGE MAIS" COMPLEMENTE

M.S.	34,2%				
M. Min.	4,5% M.S.				
M.A.T.	13,2	"			
Cell. W.	18,3	"			
Analyse minérale					
P	3,9 g kg M.S.	Mn	54,2 mg/kg M.S.		
Ca	5,5	"	Zn	51,8	"
Mg	3,0	"	Cu	9,6	"
K	14,0	"	Co	0,3	"
Na	1,5	"			
S	2,7	"			
Analyse qualitative pH 4,3		Sur brut		Sur M.S.	
Ac. lactique	en g/kg	17,7		51,7	
Ac. acétique	"	14,9		43,6	
Ac. butyrique	"	Tr.		—	
N — NH3	"	0,77		2,25	
N Total	"	7,20		21,0	
N — NH3 en % N total		10,7			

L'amélioration rapide et spectaculaire de l'état sanitaire s'est poursuivie et au bout de 2 à 3 semaines les animaux ont retrouvé un aspect plus normal (comportement, appétit) ; leur production laitière s'est accrue sans atteindre cependant le niveau initial.

IV CONCLUSION

Dans ce cas précis, après avoir :

- 1) étudié la ration distribuée,
- 2) analysé le fourrage de la ration de base (ensilage de maïs),
- 3) observé le comportement des animaux,
- 4) tenu compte des analyses de sol de la région,

il a été conclu à la possibilité d'une carence en cuivre. Le traitement préconisé en conséquence a confirmé ce diagnostic.

L'utilisation d'un complément minéral et azoté adapté au maïs fourrage a permis de trouver une solution pratique pour résoudre ce problème de carence. Une utilisation préventive et rationnelle aurait permis d'éviter une importante perte économique sur la production de lait.

DISCUSSION

M. COUDURIER — M. CROSSET-PERROTIN a utilisé le Rumipec comme moyen de lutter contre les carences en cuivre. M. KEROUANTON a employé une formule à lui en partant sur la base du condiment minéral de la région enrichi en oligoéléments. Existe-t-il finalement un condiment minéral passe-partout dans lequel on pourrait mettre tous les oligoéléments indispensables ou faut-il adapter le condiment minéral par région comme on le croit parfois ? Cela ne semblerait pas être le cas puisque les carences existent partout sauf pour le manganèse. Que doit-on utiliser ? Le Rumipec convient-il à tout moment ?

Dr. LAMAND — Je voudrais aussi différer la réponse à demain car nous parlerons prophylaxie et traitement.

M. CROSSET-PERROTIN — Nous avons pensé à l'apport de sulfate de cuivre seul, mais cela a posé un problème pratique. C'est pourquoi nous avons utilisé ensuite ce produit, étudié pour compléter d'une manière générale le maïs fourrage et dont nous connaissions la teneur en cuivre.



DIAGNOSTIC GEOCHIMIQUE INTERFERENCES AVEC LA CULTURE FOURRAGERE ET SON INTENSIFICATION

S. PERIGAUD* — M. COPPENET**

* INRA - Station de Physiopathologie de la Nutrition
CRZV de Theix — 63100 BEAUMONT

** INRA - Station d'Agronomie
R. de Stang Vihan — 29000 QUIMPER

I INTRODUCTION

La carence au niveau de l'animal est le résultat de blocages successifs de l'oligoélément le long de la chaîne sol-plante-animal, la composition de la partie aérienne du fourrage ingéré n'étant finalement qu'un reflet du sol.

Dans les pays où de graves carences animales sévissent, celles-ci correspondent effectivement à certains types de sols bien définis, dans lesquels les oligoéléments sont pratiquement inexistantes ou inaccessibles à la végétation (PERIGAUD, 1971).

Les données classiques de la géopédochimie d'une part, et les travaux de pédologie en France d'autre part, permettent de se faire une idée de la situation relative aux oligoéléments dans notre pays. Peut-on aller plus loin avec un test de diagnostic au niveau du sol dans notre objectif d'interprétation en termes de carences animales ? Quels sont les autres facteurs spécifiques de la plante et des conditions culturales, qui peuvent interférer avec le sol à l'échelle de l'exploitation ?

Tel est le problème que nous allons aborder.

II DIAGNOSTIC GEOPEDOCHIMIQUE A L'ECHELLE DE LA FRANCE

Les données classiques de la géopédochimie ont permis d'établir une carte des carences probables en cuivre et cobalt en France et précisé quelques points sur les carences possibles en zinc et sélénium ainsi que sur les excès de molybdène (PERIGAUD, 1971).

La carte géopédochimique de PEDRO et SCHERER (1974) peut également être traduite et interprétée en termes de certaines carences :

- **Les carences possibles en cuivre et cobalt** doivent se rencontrer :
 - sur la totalité des milieux dits aluminisés fortement désaturés et en cours de dégradation, représentés en bleu sur la carte et correspondant à 27% du territoire français : Centre, Landes, Massif Armoricaire, Vosges, Alpes du Nord, Pyrénées Frontalières.
 - sur une partie des secteurs dits partiellement désaturés et représentés en vert : là où apparaissent les dépôts morainiques, principalement de l'Est de la Saône et du Rhône et les dépôts sidérolithiques de l'Ouest, du Massif Central et du Bassin Parisien. Sur les limons (Bassin Parisien), quelques carences sont également possibles.
 - enfin, sur une partie importante de l'aire calcaire, teintée en jaune : tout le Sud-Est, le Sud et l'Ouest du Massif Central, les Champagnes et les nombreux affleurements du Nord du Bassin Parisien (au sein, précisément, des limons signalés ci-dessus).
- **Les carences en manganèse** peuvent exister sur les sols calcaires représentés en jaune sur le document de PEDRO. On sait que les sols les plus atteints sont ceux qui sont riches en calcaire actif. A l'opposé, les sols acides de montagne et semi-montagne donnent des fourrages toujours riches en manganèse sauf en cas d'accident de surchauffage.
- **Les carences en zinc** devraient plutôt se situer sur des sols compacts, à réaction voisine de la neutralité c'est-à-dire sans rapport systématique avec la nature de la roche-mère (DARTIGUES, LUBET, 1967).
- **Les carences en sélénium** se situent préférentiellement sur les roches éruptives, c'est-à-dire sur celles qui sont mal pourvues en cuivre et cobalt disponibles. Cependant, la mobilité du sélénium dans le sol est beaucoup plus poussée que celle des deux métaux : l'appauvrissement doit être plus marqué et plus généralisé.

Les excès de molybdène paraissent a priori possibles sur les calcaires marneux de l'Infralias (auréole du Bassin Parisien, surtout à l'Est).

En résumé, la connaissance des sols au niveau de la France permet d'expliquer les résultats de l'enquête sur les carences en oligoéléments chez les ruminants et même de les extrapoler aux régions qui n'ont pas répondu (LAMAND, PERIGAUD, 1973 ; PERIGAUD, LAMAND, 1973 ; BELLANGER et al., 1973).

Cependant, à cette échelle, on ne peut parler que de possibilités de carence, sans préjuger de leur localisation plus précise. Est-il possible d'affiner le diagnostic jusqu'au niveau de l'exploitation ?

III POSSIBILITES DE DIAGNOSTIC A L'ECHELLE DE LA REGION ET DE L'EXPLOITATION

Les carences en oligoéléments chez l'animal trouvent le plus souvent leur origine dans des fourrages trop pauvres pour les besoins de l'animal. Mais le seuil, pour le végétal lui-même, est en général, beaucoup plus bas. C'est la raison pour laquelle le problème du diagnostic par le sol ne se pose pas de la même manière pour le végétal et l'animal.

1) La carence végétale

Toutes les plantes ne sont pas également sensibles à telle carence, les fourrages le sont beaucoup moins que d'autres : quelques symptômes de carences en cuivre ont été décelés en France sur Ray-Grass, Fléole, Trèfle violet sur les sols les plus pauvres du Massif Armoricaire où les céréales sont très atteintes (COPPENET, 1970). Des carences en zinc n'ont été observées que sur maïs. On ne connaît pas de carence en manganèse sur les plantes fourragères et seules les luzernes peuvent être carencées en bore et molybdène. Le cobalt n'est pas nécessaire aux végétaux, si ce n'est aux nodosités des légumineuses.

Lorsqu'une plante pose un problème grave de carence en un site donné il est nécessaire de détecter les sols responsables et de chercher les traitements préventifs : l'analyse de sol est a priori séduisante. Mais la fraction réellement assimilable et disponible des éléments minéraux est à la fois trop complexe et trop fluctuante pour pouvoir être déterminée par un extractif chimique unique. On a donc recours à des tests, avec recherche d'une corrélation convenable entre d'une part les taux d'éléments extraits par divers extractifs conventionnels, d'autre part l'apparition de symptômes de carences sur la plante concernée et l'efficacité des traitements préventifs.

Ces travaux, de longue haleine, débouchent sur la mise au point d'un test analytique valable pour la région étudiée et la définition **d'un seuil de carence dans le sol pour le végétal concerné**. De nombreux travaux ont été faits dans cette optique, les extractifs et l'interprétation des résultats varient avec l'élément et l'auteur.

Pour la France, la synthèse des travaux sur les oligoéléments a été faite par DUVAL et MAURICE en 1970 ; les méthodes, les seuils y sont précisés. Par exemple, il existe un test pour le cuivre, mis au point dans le Massif Armoricaire à propos des carences chez les céréales. Il permet de confirmer la classification géochimique en sols initialement pauvres (grès, granites) et sols bien pourvus et de déceler ainsi les sites de carence réelle des fourrages (COPPENET, 1970).

Les carences en **zinc** sur maïs dans le Sud-Ouest sont en bonne relation avec deux tests de sols associés, un extractif et le pH ; mais ces tests ne sont plus interprétables sous cette forme pour le maïs du Massif Armoricaire. Il existe de même des tests pour le **molybdène** et la luzerne, pour le **bore** et la luzerne ou les betteraves, mais ils ne donnent ni l'un ni l'autre pleine satisfaction.

La même marche d'approche (JUSTE, 1971) permet aussi de définir, dans le sol, des seuils de **toxicité** pour la plante elle-même (cuivre, manganèse).

De façon générale, un test n'a de valeur que s'il a été étalonné, dans la région étudiée, sur le comportement du végétal concerné. Il faut faire extrêmement attention à la méthode employée et aux références culturelles. Le prix de ces analyses est tel qu'elles ne peuvent être généralisées sans précautions. Les modalités de prélèvement doivent elles-mêmes être bien précisées, les quantités d'élément extractible pouvant varier considérablement dans l'épaisseur de la couche arable elle-même (DAUTRIA, cité par PERIGAUD, 1971).

2) Les carences animales

Ce n'est plus le rendement du végétal qui nous intéresse ici, mais sa **composition**.

Toutes conditions étant identiques par ailleurs, la teneur en **cuivre** d'un fourrage est en relation avec la disponibilité du cuivre dans le sol : ce sont bien sur les sols les moins bien pourvus en cuivre, que les fourrages de prairie naturelle sont les plus pauvres (PERIGAUD et al., 1972).

De même, on décèle une corrélation hautement significative dans le Massif Armoricaire entre les tests de sols et la composition du Ray-Grass d'Italie au stade pâture, de 0,53 pour le cobalt (COPPENET et al., 1972) et de 0,50 pour le zinc (COPPENET, MORE, 1973).

Cependant, dans le cas du cuivre, si les Ray-Grass sont **moyennement** plus pauvres sur granites et grès que sur schistes, dans ces deux situations extrêmes, la teneur en cuivre du Ray-Grass reste inférieure au seuil de carence pour

TENEURS RELATIVES EN Cu, Zn, Mn DE DIFFÉRENTS TYPES DE FOURRAGES

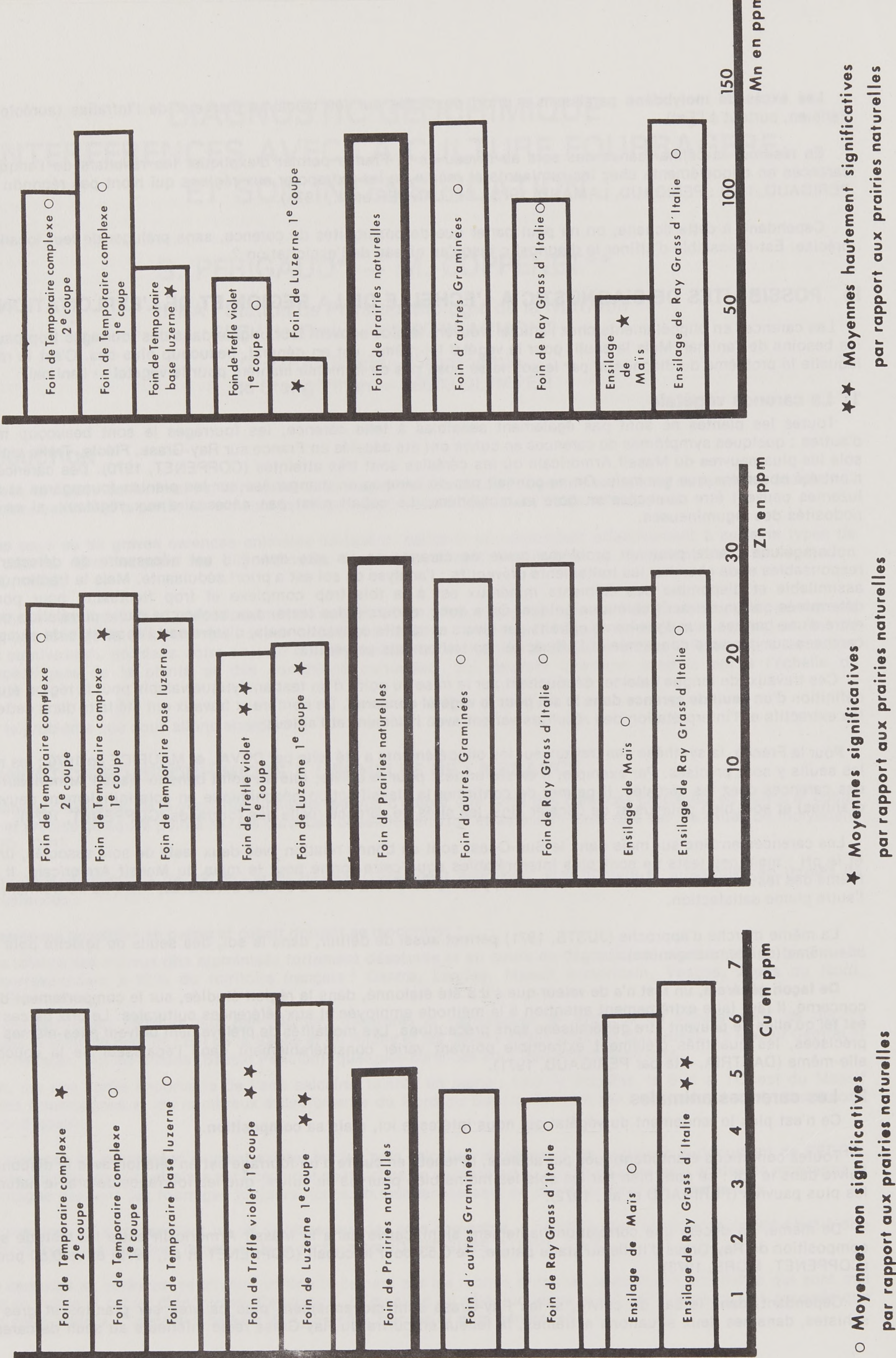


Figure 1

l'animal et, au stade foin, les teneurs sont identiques (COPPENET, 1970). Ainsi, le seuil de carence admis dans le sol, pour la carence végétale ne peut être extrapolé à un problème précis d'alimentation animale de la même région.

De même, on retrouve pour le **cobalt** dans le Massif Armoricaire la même différenciation entre les sols que pour le cuivre, et les teneurs moyennes en cobalt chez les Ray-Grass reflètent ces différences (COPPENET, CALVEZ, 1967). Mais les extrêmes dosés dans ce fourrage se situent, quel que soit le type de sol, de part et d'autre du seuil de carence animale ; d'autre part, la corrélation de 0,53 entre l'analyse de sol et de plante n'existe que si l'on considère tous les sols de la région ; elle devient pratiquement nulle si l'on ne s'adresse qu'à un type de roche mère (COPPENET et al., 1972). Cette observation permet de mettre en doute l'utilité des analyses de sol dans l'objectif précis de prévision de carences animale.

Les importants travaux de MITCHELL, en Ecosse, confirment que la corrélation entre un test de sol et une composition de prairie est très lâche dans les meilleurs cas, et le plus souvent inexistante. De plus, l'extrapolation de celles décelées dans une région avec une plante donnée n'est pas possible ailleurs.

En résumé, le diagnostic de carence possible n'est pas fourni à partir d'une analyse de sol, mais pratiquement, par la révélation de symptômes de carences sur des plantes sensibles, autres que les fourrages.

L'analyse de sol permettrait mieux de déceler les sols riches en certains éléments facilement absorbés par la plante au point de devenir toxiques pour l'animal (cas du molybdène, du sélénium).

Dans les situations les plus courantes, la composition de la plante dépend autant d'autres facteurs que du sol lui-même.

IV PRINCIPAUX FACTEURS DE VARIATION DE COMPOSITION DES FOURRAGES

Plusieurs publications relativement récentes (COIC, 1971 ; PERIGAUD, 1970, 1971 ; TROCME, 1971) font le point de ces différents facteurs qui relèvent à la fois de la plante elle-même, de ses conditions d'environnement et des méthodes culturales.

Nous rappellerons ici quelques-uns des résultats récents obtenus d'une part dans le cadre de notre enquête sur les carences chez les ruminants (PERIGAUD et al., 1972), d'autre part sur les multiples expérimentations fourragères menées par l'I.N.R.A. et parfois l'I.T.C.F. à travers toute la France, de 1968 à 1973, sur les échantillons desquelles notre laboratoire a fait les analyses d'oligoéléments (résultats partiels dans PERIGAUD, 1970, 1971, 1974, PERIGAUD, BELLANGER, 1972). Enfin, la Station d'Agronomie du Finistère apporte ici ses propres données (COPPENET, 1970 ; COPPENET, CALVEZ, 1967 ; COPPENET, MORE, 1973).

1) Facteurs liés à la plante

a) LE GENOTYPE

A travers les résultats de l'enquête, il ressort que les foins de trèfle violet et de luzerne sont moyennement plus riches en cuivre, mais un peu moins en zinc et 4 à 5 fois moins en manganèse que les foins de prairies naturelles (fig. 1, tirée de PERIGAUD et al., 1972).

Les analyses **d'espèces pures**, en provenance des différentes stations étudiées (au nombre de 16) montrent (fig. 2) qu'indépendamment des sites, trèfle violet et luzerne se distinguent surtout des graminées en première coupe par leur pauvreté en **manganèse** ou, plus exactement, leur incapacité d'atteindre des teneurs supérieures à 50-60 mg/kg/MS. Les graminées peuvent être aussi pauvres (en sols calcaires) mais sont beaucoup plus souples et susceptibles d'atteindre ailleurs des taux de 300 à 400 mg/kg MS. Parmi les graminées, c'est la fléole qui est la moins bien pourvue en manganèse, et le dactyle la plus riche. Enfin, une plante donnée en un même site subit des variations considérables pouvant atteindre 1 à 5 (fig. 2).

Les teneurs en **cuivre** ne varient que de 1 à 3 dans ces conditions. Les légumineuses sont, dans l'ensemble, un peu mieux pourvues que les graminées, mais il n'est pas rare de voir l'inverse en sol pauvre en cuivre (cas de la Normandie, Seine-Maritime). Parmi les graminées, le dactyle se distingue des autres par le niveau le plus élevé. Les fléoles et fétuques ont des teneurs extrêmement basses en milieux pauvres mais peuvent égaler les luzernes dans d'autres conditions (fig. 3).

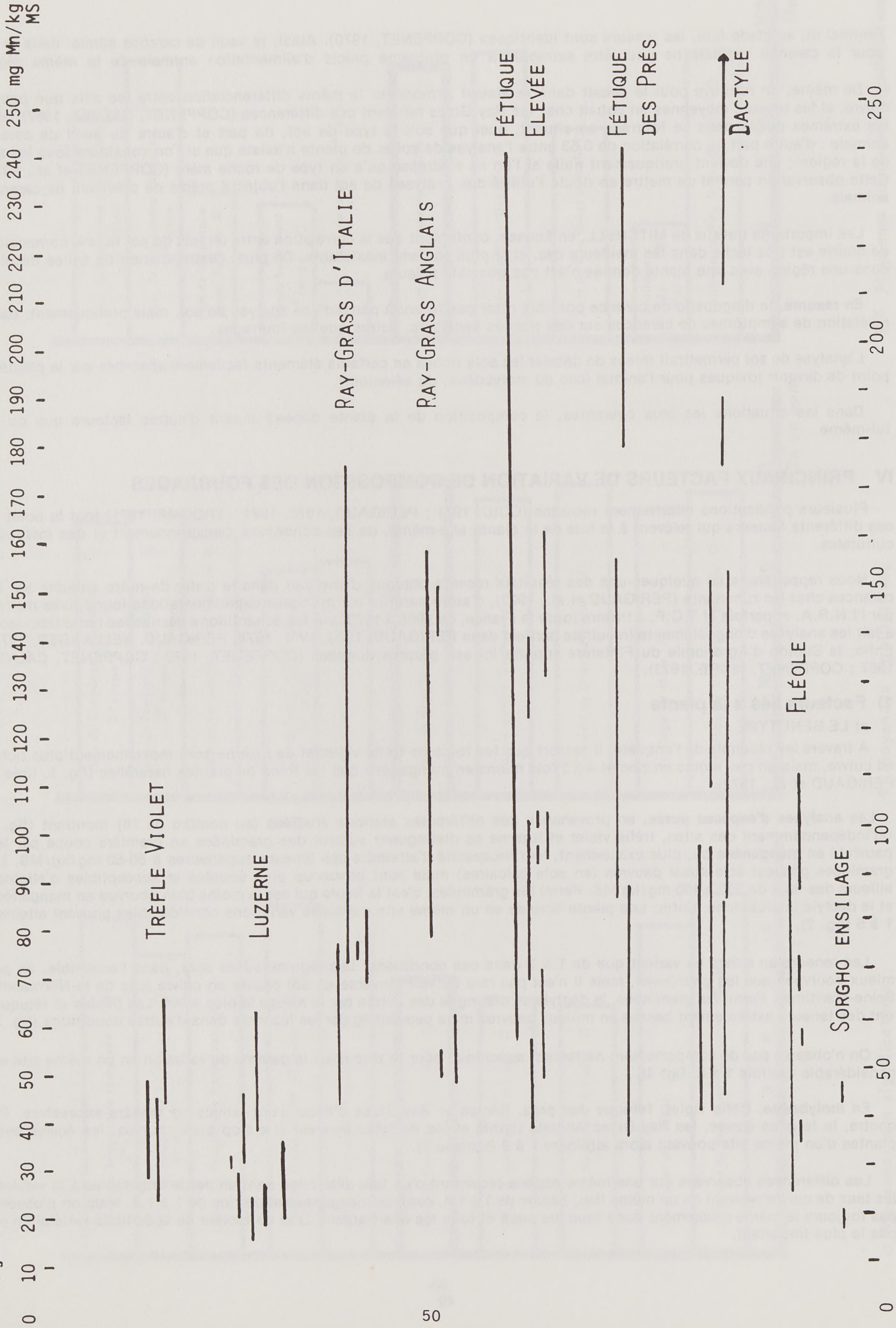
On n'observe pas de comportement nettement spécifique pour le **zinc** mais la gamme de variation en un même site est considérable (parfois 1 à 8, fig. 4).

En **molybdène**, trèfle violet, fétuque des prés, fléoles et Ray-Grass d'Italie n'ont jamais de teneurs excessives. Par contre, la fétuque élevée, les Ray-Grass Anglais tardifs et les dactyles peuvent être trop bien pourvus, les écarts entre plantes d'un même site pouvant alors atteindre 1 à 9 (tableau 1).

Les différences observées sur une même espèce provenant d'un lieu déterminé sont en partie imputables à la **variété** : les taux de cuivre peuvent en un même lieu, passer de 1 à 1,4, ceux de manganèse et de zinc de 1 à 1,9. Mais on n'observe pas toujours le même classement dans tous les sites ni tous les ans (tableau 2) et ce facteur de spécificité variétale n'est pas le plus important.

TENEURS EN MANGANESE DES FOURRAGES 1ère COUPE (Fauche)

Figure 2



TENEURS EN CUIVRE DES FOURRAGES 1ère COUPE (Fauche)

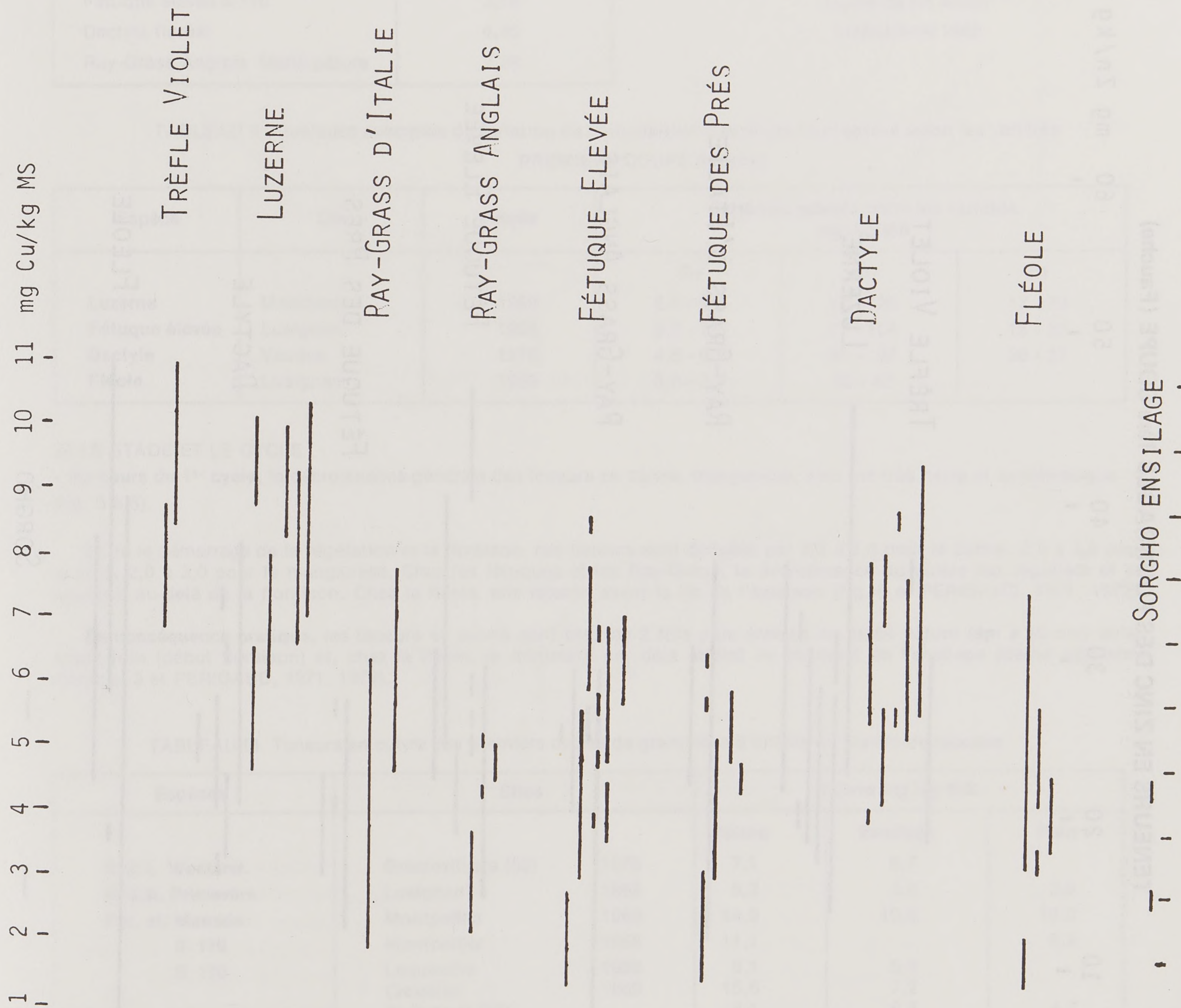
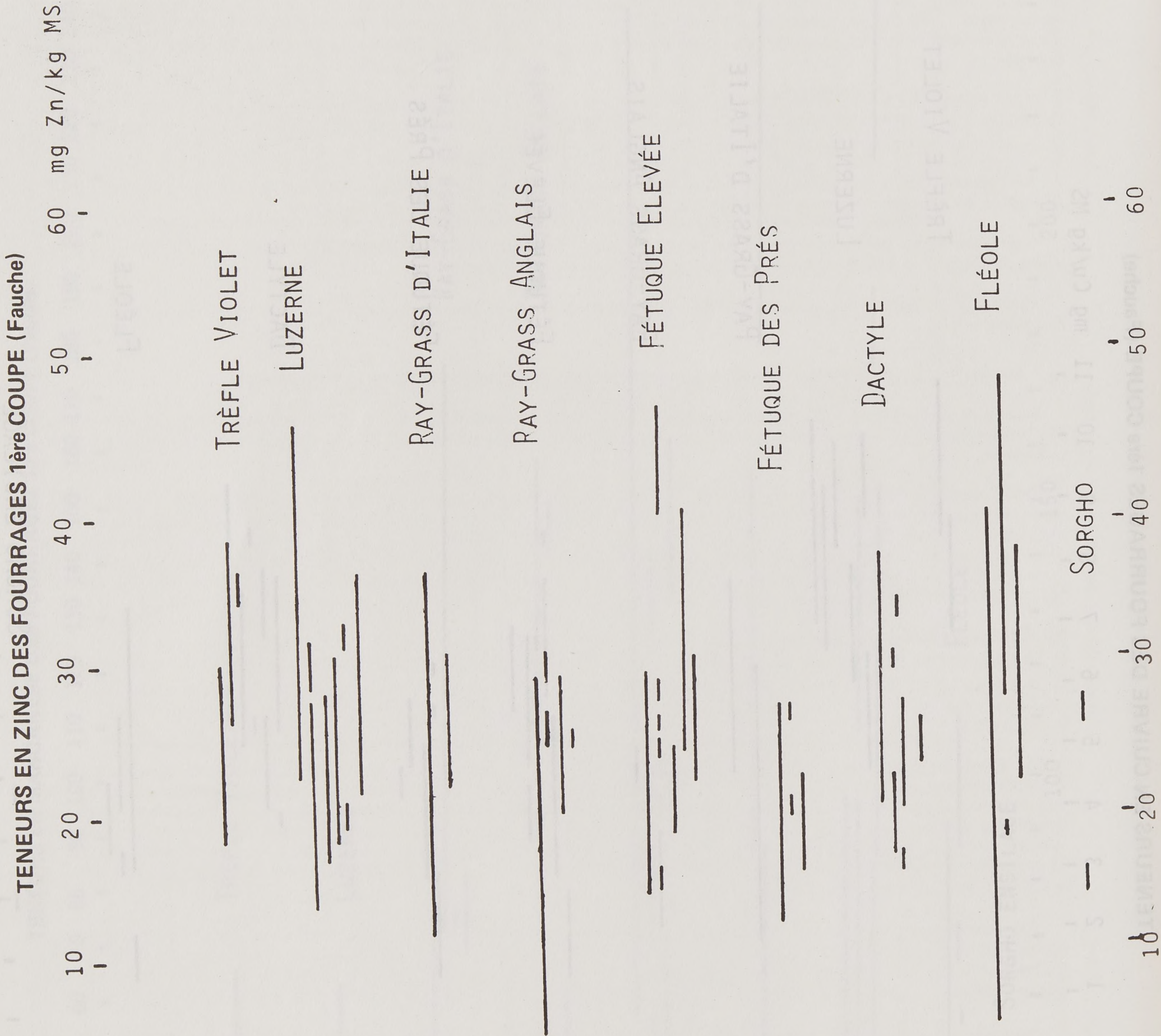


Figure 4



	Mo MG/KG MS
Ray-Grass Anglais Westerw.	0,82
Fléole Mélusine	0,44
Fétuque élevée S 170	3,16
Dactyle floréal	6,40
Ray-Grass Anglais Melle pâture	7,38

TABLEAU I

Teneurs en molybdène de différentes graminées
(cycle de fin Août)
LUSIGNAN 1968

TABLEAU II Quelques exemples de variation de composition d'espèces fourragères selon les variétés
PREMIERE COUPE (fauche)

Espèce	Lieu	Année	Extrêmes relevés entre les variétés mg/kg MS		
			Cu	Mn	Zn
Luzerne	Montfavet	1969	6,5 - 9,4	17 - 25	17 - 30
Fétuque élevée	Lusignan	1968	3,0 - 3,5	77 - 104	18 - 22
Dactyle	Vaudes	1970	4,8 - 6,2	51 - 97	20 - 27
Fléole	Lusignan	1969	3,0 - 3,7	25 - 42	

b) LE STADE ET LE CYCLE

- **Au cours du 1^{er} cycle**, la décroissance générale des teneurs en cuivre, manganèse, zinc est très nette et systématique (fig. 5 à 8).

Entre le démarrage de la végétation et la floraison, ces teneurs sont divisées par 2,3 à 2,8 pour le cuivre, 2,0 à 2,5 pour le zinc, 2,0 à 3,0 pour le manganèse. Chez les fétuques et les Ray-Grass, la décroissance du cuivre est régulière et se poursuit au-delà de la floraison. Chez la fléole, elle ralentit avant la fin de l'épiaison (fig. 5 et PERIGAUD, 1971, 1972).

En conséquence pratique, les teneurs en cuivre sont près de 2 fois plus élevées au stade pâture (épi à 10 cm) qu'au stade foin (début floraison) et, chez la fléole, le minimum est déjà atteint au moment de l'ensilage (début épiaison) (tableau 3 et PERIGAUD, 1971, 1972).

TABLEAU III Teneurs en cuivre des premiers cycles de graminées à différents stades de récoltes

Espèces	Sites		Cuivre mg/kg MS		
			Pâture	Ensilage	Foin
R.G.I. Westerw.	Gremevilliers (60)	1970	7,1	6,7	
R.G.A. Primevère	Lusignan	1968	5,3	4,9	3,0
Fét. el. Manade	Montpellier	1969	14,9	10,5	10,0
S 170	Montpellier	1968	11,1		6,9
S 170	Laqueuille	1968	6,1	5,9	
	Crouelle	1969	15,6	7,2	
	St Bonnet (15)		8,1	6,9	4,7
S 170	Lusignan	1968	5,7	5,3	3,4
Ludion	—		4,7	3,0	2,0
Fét. pr. Séquana	—	1968	5,4	3,4	3,2
Dactyle Germinal	—	1968	7,4	6,5	3,9
Fléole Mélusine	—	1968	5,1	3,2	3,3
Sorgho Grazer 1,70 m	Dijon	1970	10,0	4,4	
80cm	Lusignan	1971	6,1	2,8	

Les taux de **molybdène** baissent également, de même que ceux de **manganèse**. La chute du manganèse est rapide sur la luzerne qui atteint des teneurs très basses un mois avant la floraison (fig. 8).

VARIATION DES TENEURS EN CUIVRE EN FONCTION DU STADE

1er CYCLE GRAMINÉES
Lusignan 1968

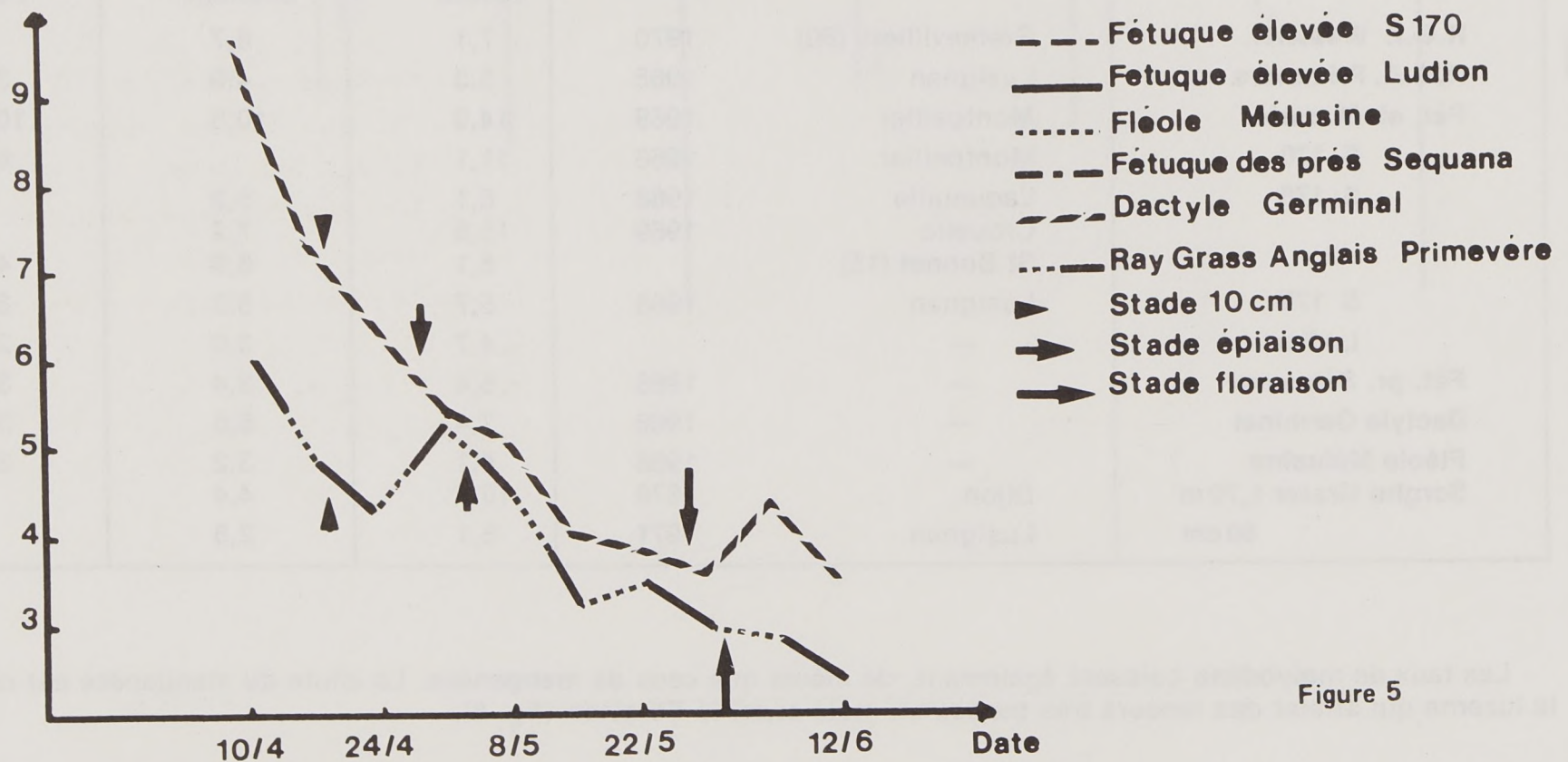
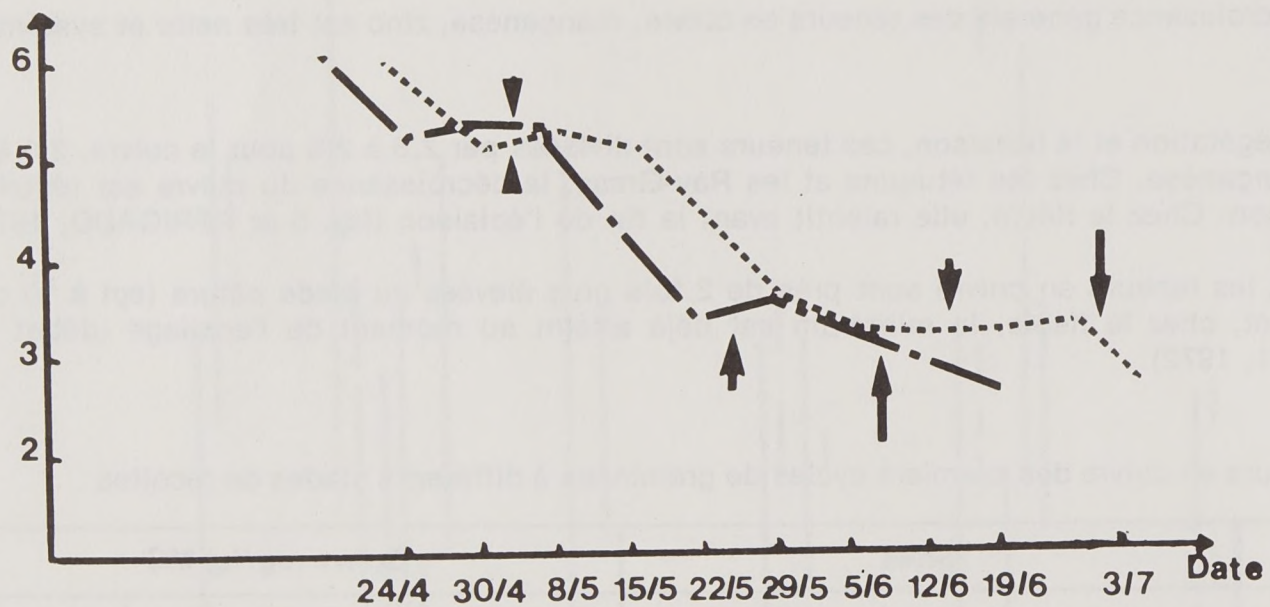
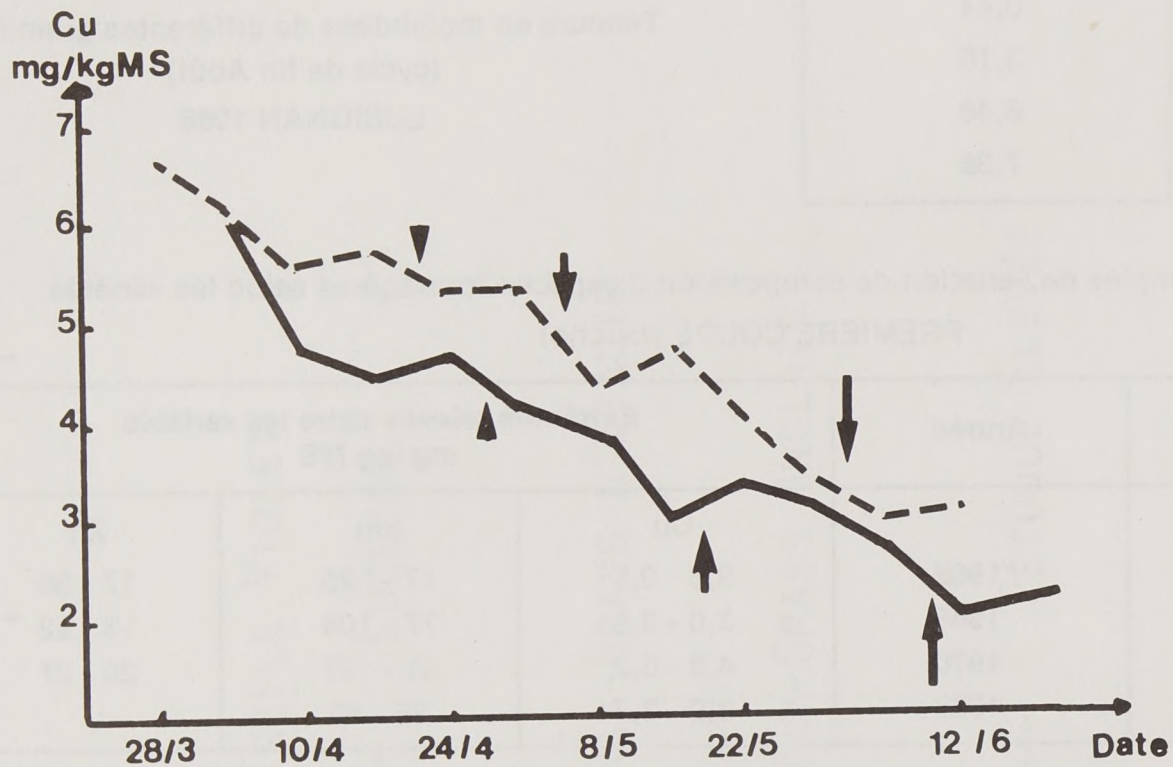


Figure 5

VARIATION DES TENEURS EN ZINC EN FONCTION DU STADE

1er CYCLE GRAMINÉES

Lusignan 1968

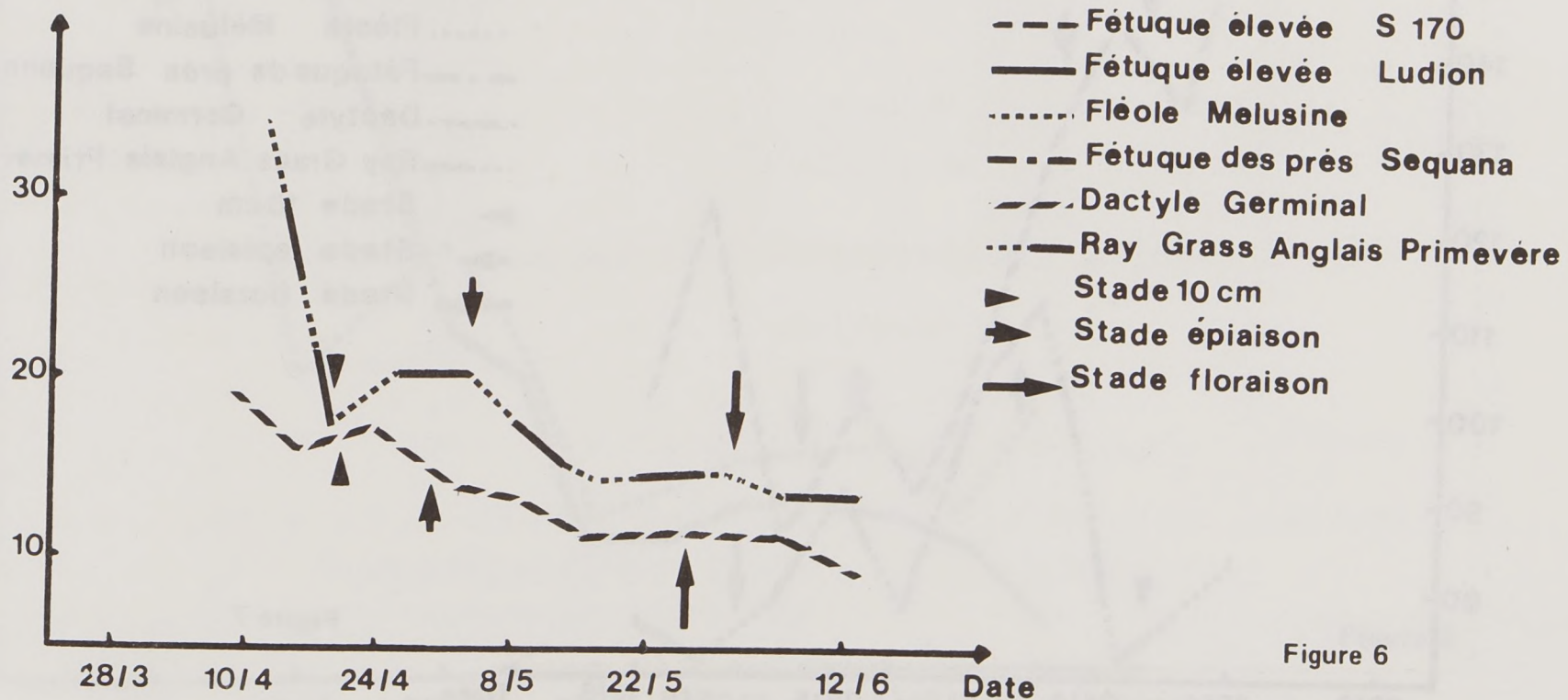
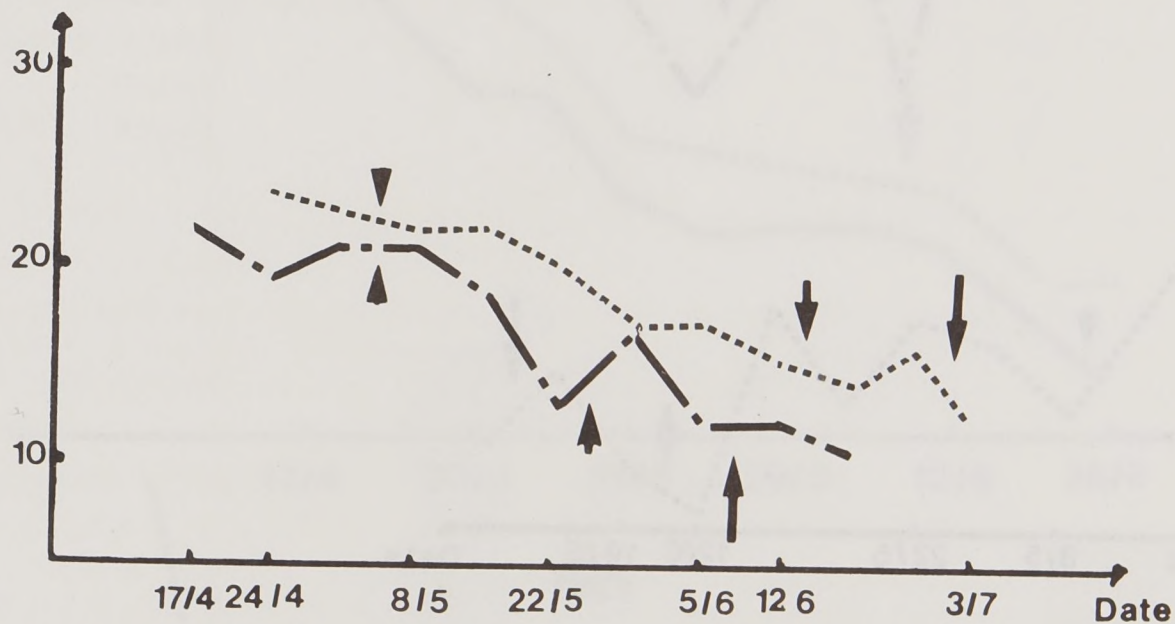
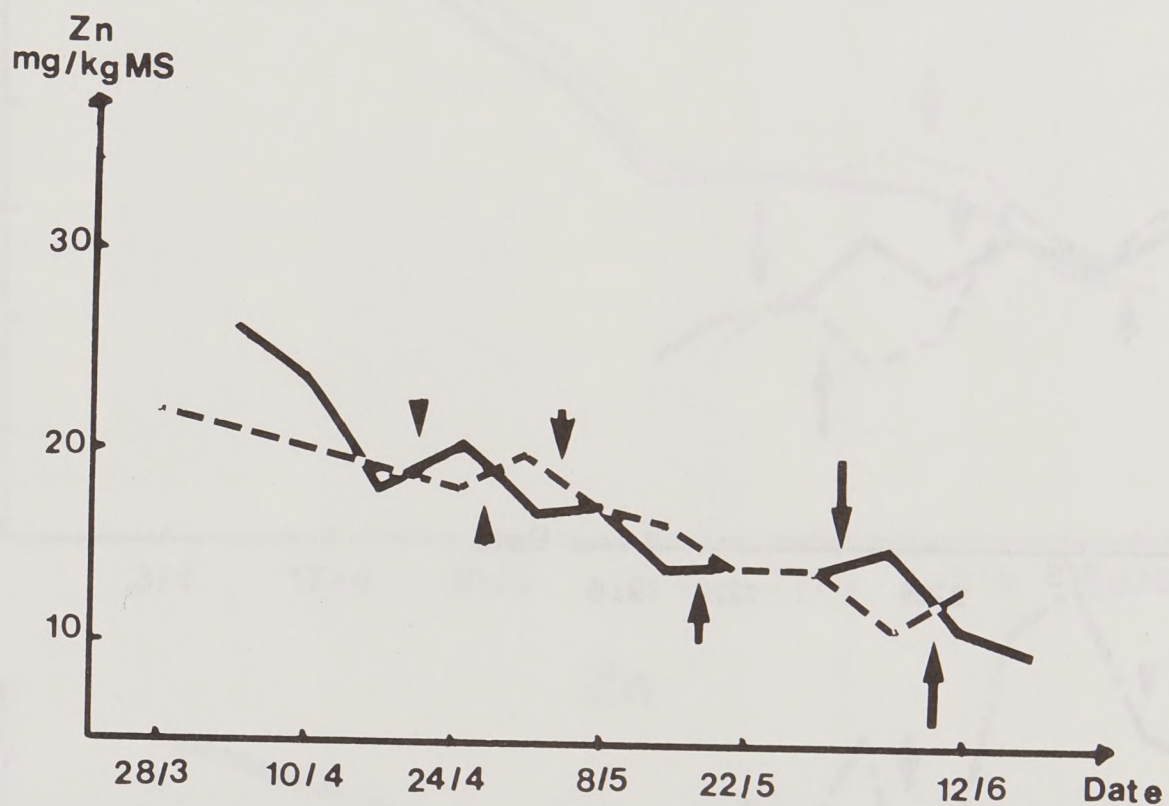


Figure 6

VARIATION DES TENEURS EN MANGANESE EN FONCTION DU STADE

1er CYCLE GRAMINÉES
Lusignan 1968

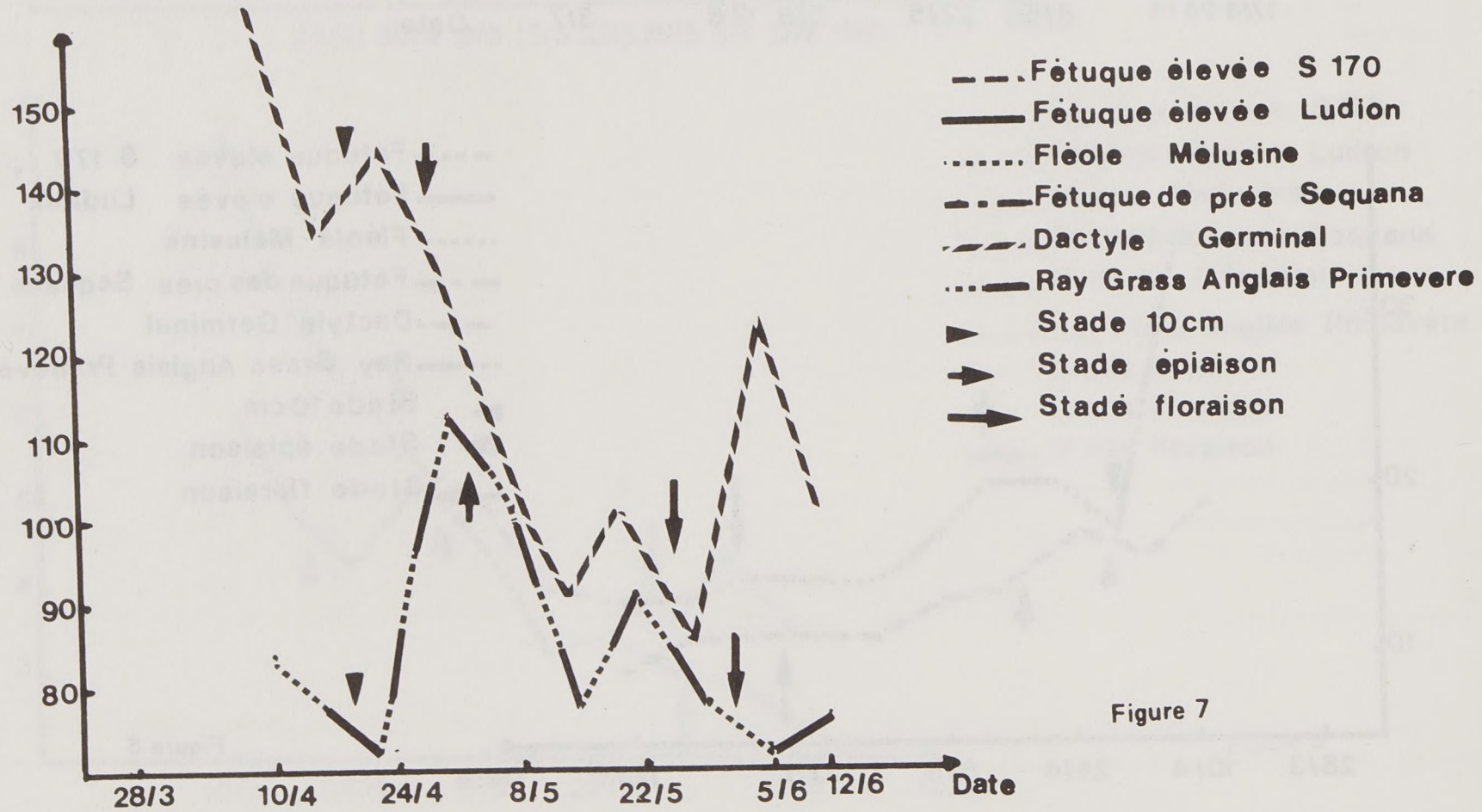
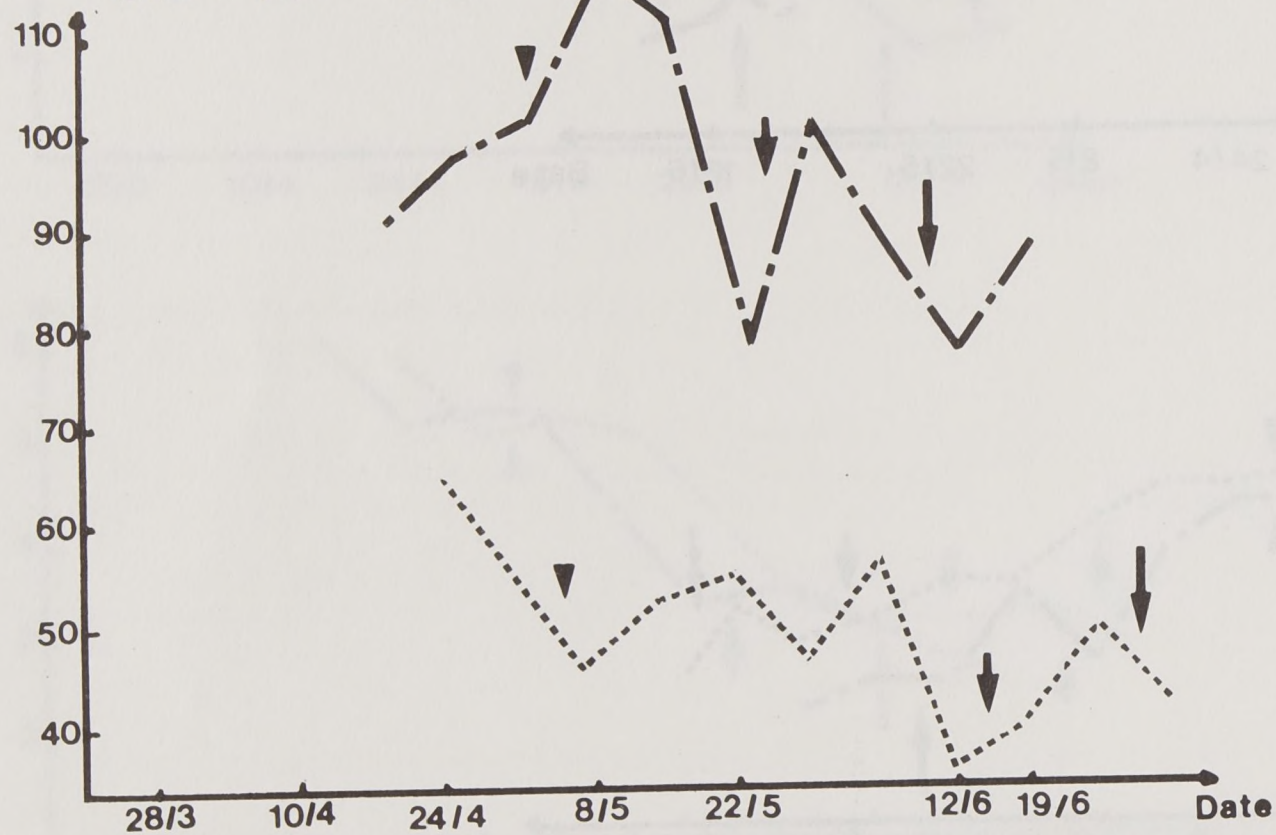
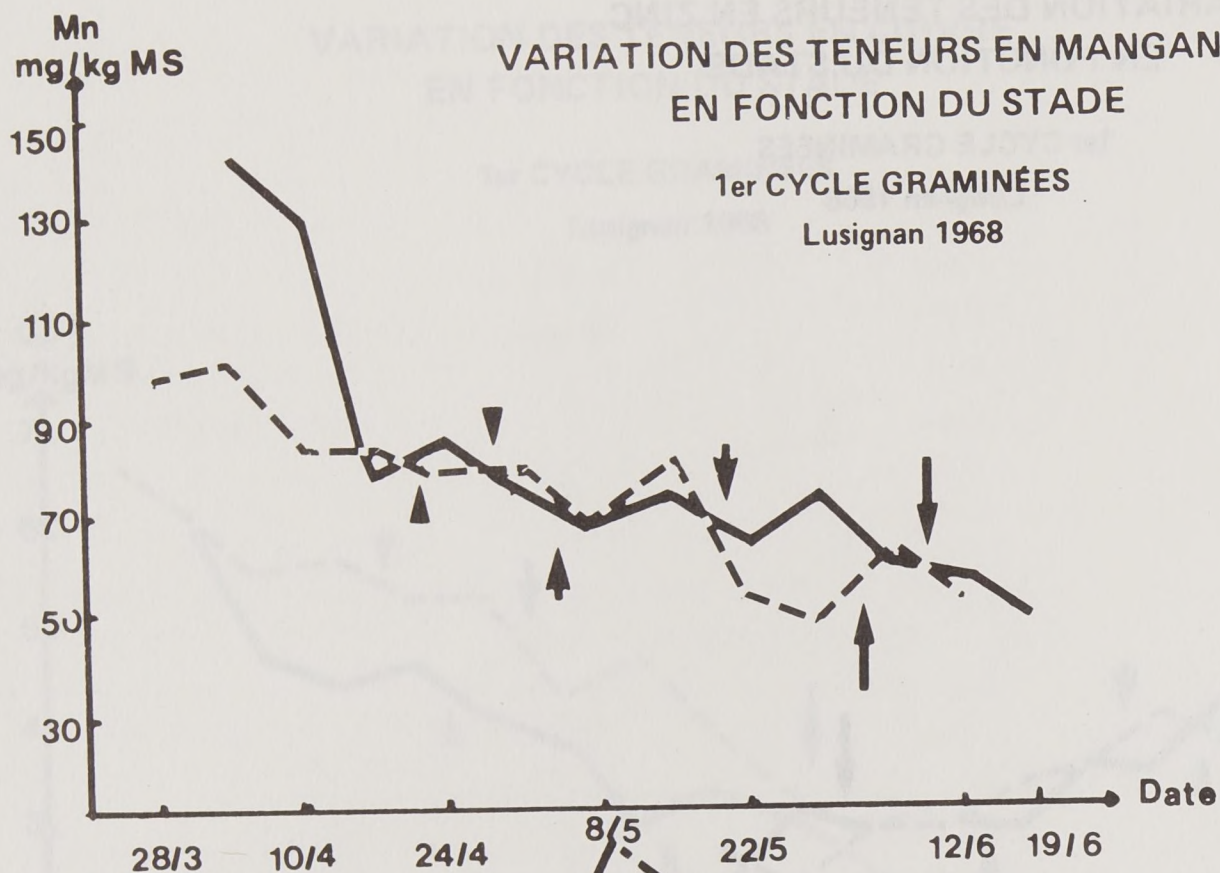


Figure 7

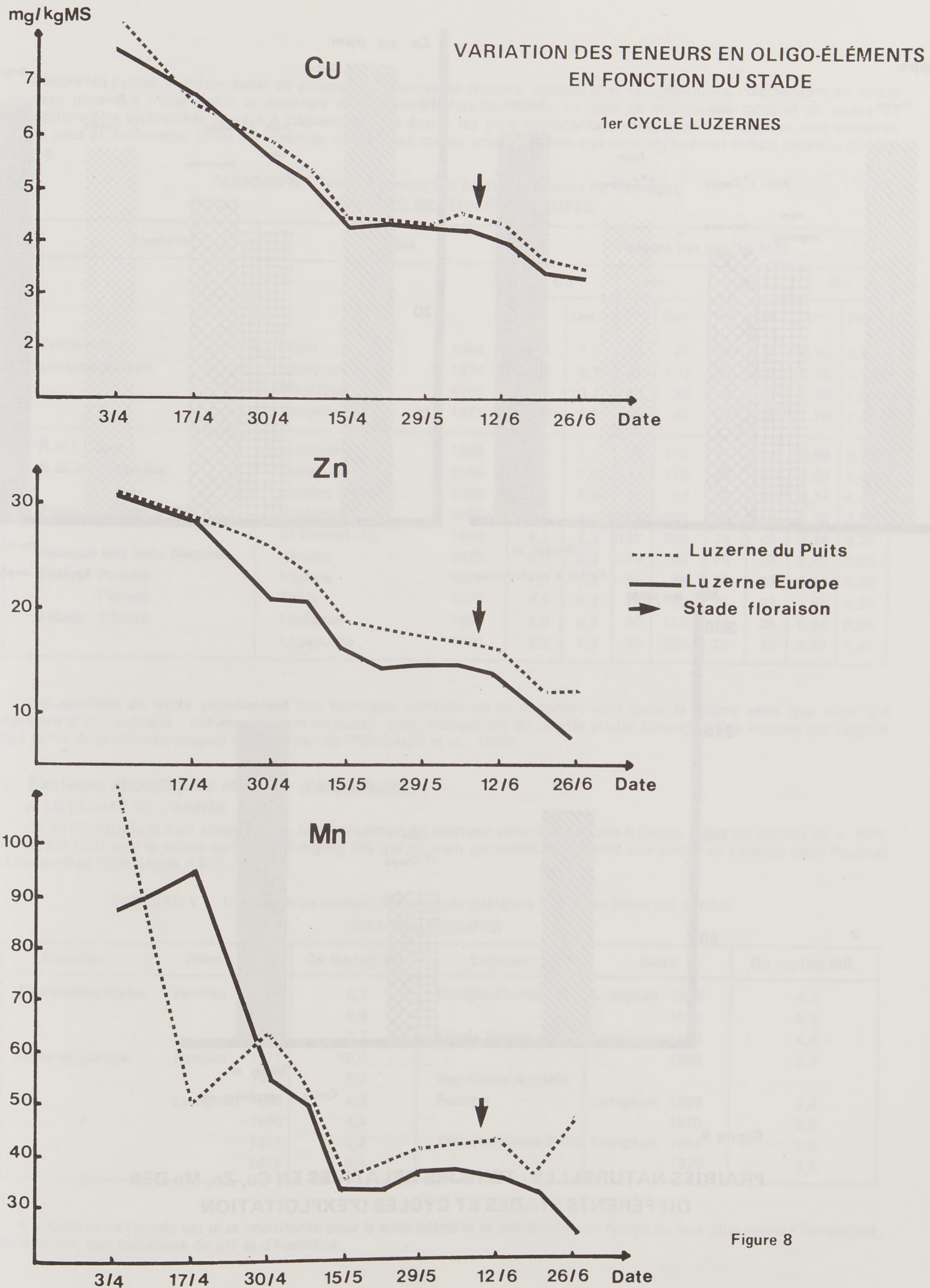


Figure 8

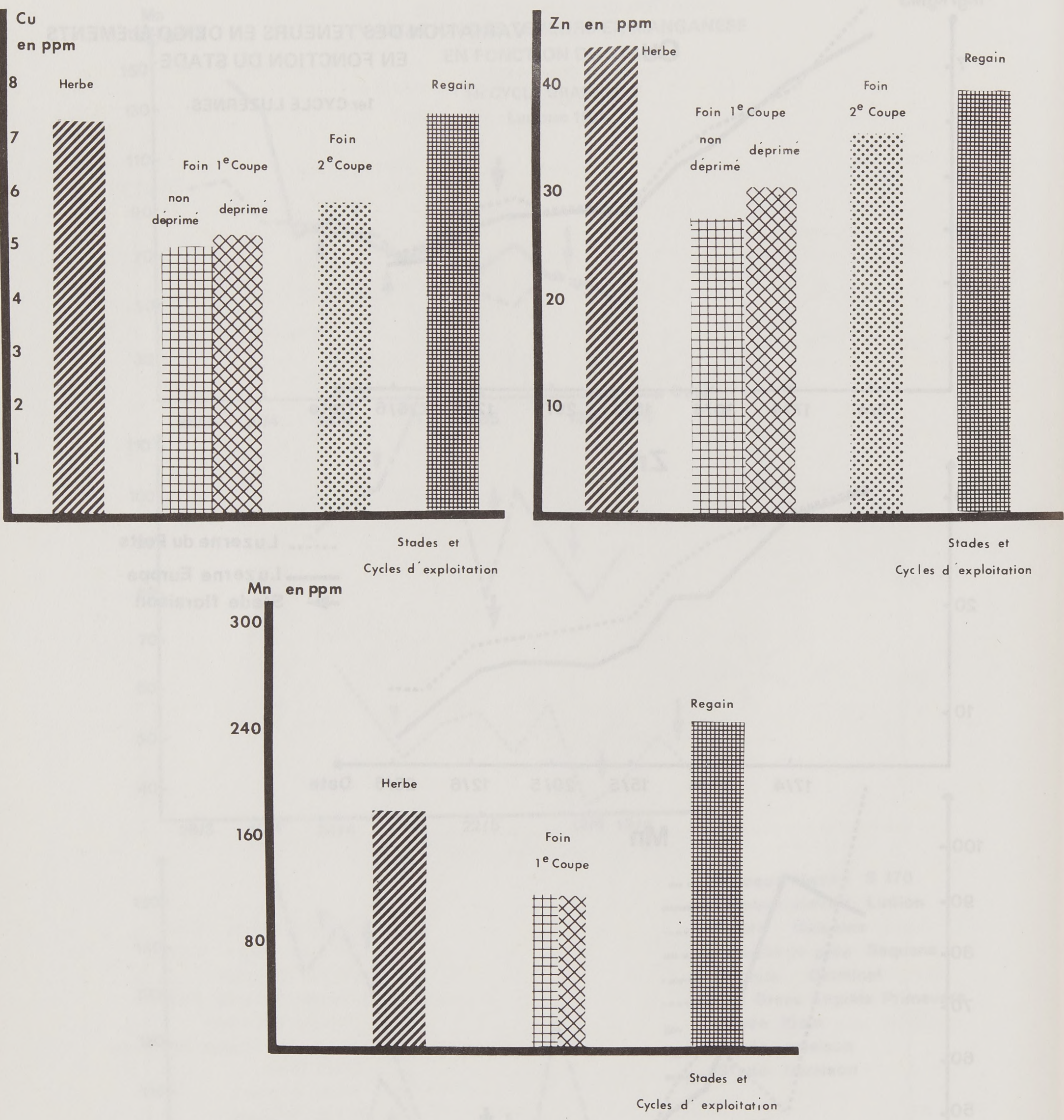


Figure 9

PRAIRIES NATURELLES - TENEURS RELATIVES EN Cu, Zn, Mn DES DIFFÉRENTS STADES ET CYCLES D'EXPLOITATION

- **Entre les cycles**, il existe aussi de **grosses différences** de teneurs, surtout chez les graminées : les teneurs en cuivre peuvent plus que tripler entre la première et la dernière fauche, celles en zinc et manganèse doubler et celles en molybdène être multipliées par 4 à 6 (tableau 4) ; les écarts les plus importants correspondant à certains sols calcaires assez secs au printemps. Chez les luzernes, ce sont les cycles intermédiaires qui sont légèrement mieux pourvus que les autres.

TABLEAU IV Teneurs comparées en oligoéléments de fourrages
PREMIERES ET DERNIERES COUPES

Espèces	Sites		Teneurs (en mg / kg MS)							
			Cu		Mn		Zn		Mo	
			1 ^{re}	Der.	1 ^{re}	Der.	1 ^{re}	Der.	1 ^{re}	Der.
Trèfle violet Luzerne Europe	Dijon	1968	8,5	9,5	28	49	18	33	1,10	0,80
	Lusignan	1970	4,6	6,7	31	100	13	21	0,33	0,12
	Montfavet	1969	9,4	10,7	18	32	28	47	1,28	1,67
	Crouelle	1971	8,0	8,1	23	23	20	21	1,16	1,30
R.G.I. Tiara R.G.A. Primevère — Fétuque élevée S 170 Fétuque des prés Séquana Dactyle Prairial Floréal Fléole Pécora	Lusignan	1968	2,0	7,7	99	118	11	22	0,58	0,73
	Lusignan	1969	2,8	7,6	113	176	15	27	0,50	1,43
	Vaudes (10)	1970	4,5	8,3	43	62	19	39	0,74	4,48
	Lusignan	1968	3,2	4,2	104	258	18	19	0,38	2,57
	St Bonnet (15)	1969	4,7	7,3	132	232	23	49	0,24	0,25
	Vaudes	1970	6,0	6,2	89	63	16	28	1,06	3,60
	Vaudes	1970	4,9	6,9	51	85	22	33	1,53	4,38
	Theix	1973	4,7	6,2	79	82	21	22	3,56	4,24
	Lusignan	1968	4,0	6,7	80	119	24	28	0,54	0,65
	Laqueuille	1970	3,6	7,2	95	200	26	40	0,61	1,41

Les résultats de notre enquête sur des fourrages prélevés en exploitation vont dans le même sens que ceux qui viennent d'être exposés : richesse relative en cuivre, zinc, manganèse de l'herbe (stade pâture) et des regains par rapport aux foins de premières coupes (fig. 9, tirée de PERIGAUD et al., 1972).

2) Facteurs climatiques et mode d'exploitation

a) LE CLIMAT DE L'ANNEE

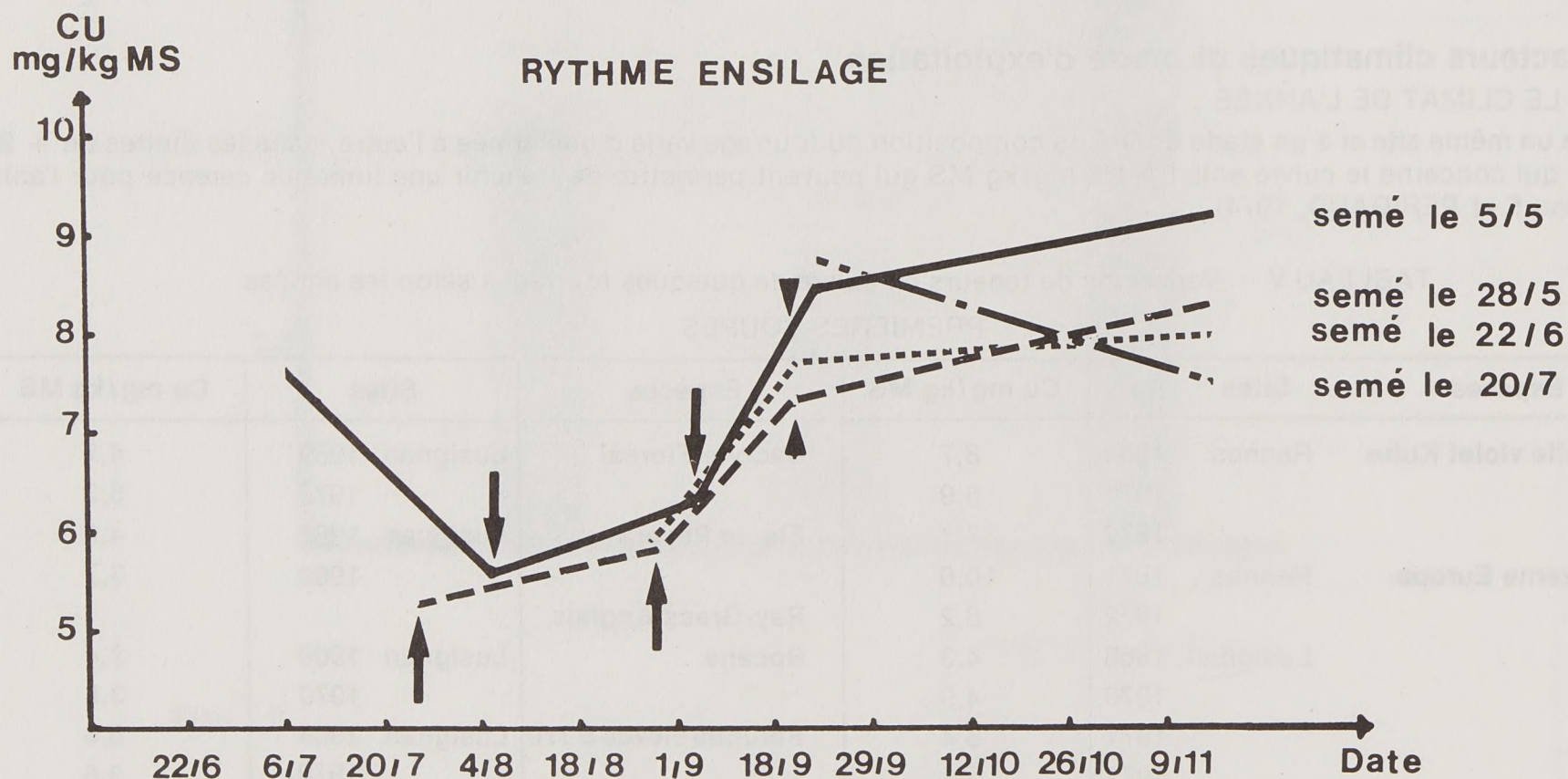
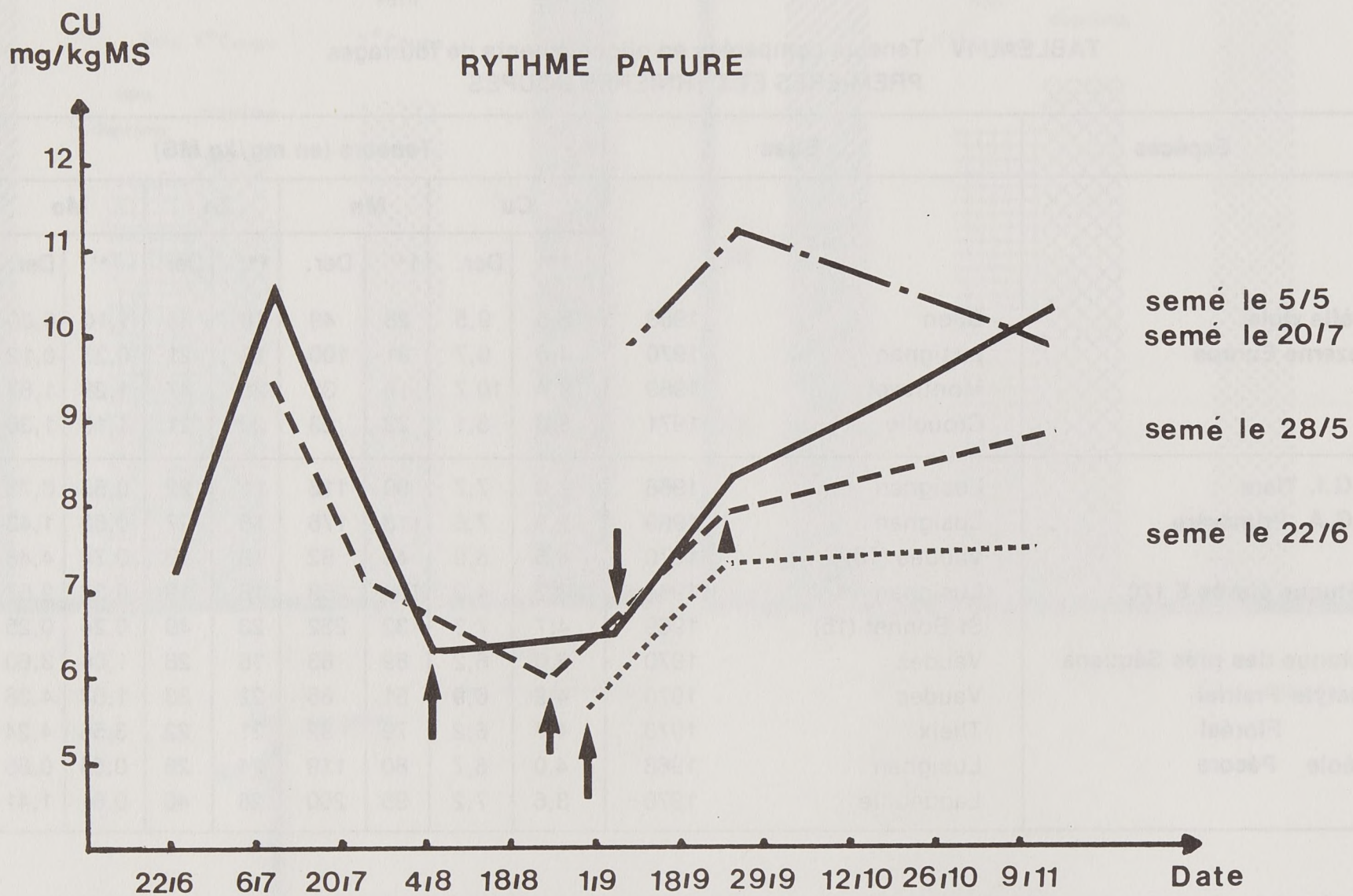
En un même site et à un stade donné, la composition du fourrage varie d'une année à l'autre, dans les limites de + 20% en ce qui concerne le cuivre soit 1 à 1,8 mg/kg MS qui peuvent permettre de franchir une limite de carence pour l'animal (tableau 5 et PERIGAUD, 1974).

TABLEAU V Variations de teneurs en cuivre de quelques fourrages selon les années
PREMIERES COUPES

Espèces	Sites		Cu mg / kg MS	Espèces	Sites		Cu mg / kg MS
Trèfle violet Kuhn	Rennes	1968	8,7	Dactyle Floréal	Lusignan	1969	4,2
		1971	6,9			1972	5,3
		1972	7,7	Fléole Pécora	Lusignan	1968	4,0
Luzerne Europe	Rennes	1971	10,0			1969	3,7
		1972	8,2	Ray-Grass Anglais Bocage	Lusignan	1969	2,4
	Lusignan	1968	4,3			1970	3,8
		1970	4,9		Lusignan	1968	5,6
		1971	6,4	Fétuque élevée S 170		1970	3,6
		1972	5,4				

L'influence de l'année est plus importante pour le molybdène et le manganèse en raison de leur plus grande sensibilité, dans le sol, aux variations de pH et d'humidité.

**TENEURS EN CUIVRE DU RAY-GRASS D'ITALIE (westerwold)
SEMÉ A DIFFÉRENTES DATES (Essai I.T.C.F. Gremevilliers 60-1970)**



▲ 10% au stade épiaison
 ➡ 20% au stade épiaison
 ➡ 50% au stade épiaison

Figure 10

b) LE RYTHME D'EXPLOITATION

Un rythme rapide permet une première exploitation à un stade plus précoce, puis des pâtages ultérieurs à intervalles plus rapprochés, donc d'herbe toujours plus jeune. En conséquence, un rythme pâture tend à homogénéiser les différences de composition entre les cycles (tableau 6).

TABLEAU VI Teneurs en cuivre des premières et dernières coupes de quelques fourrages sous deux rythmes d'exploitation (Cu mg/kg MS).

Espèces	Sites		Système Pâture		Système Fauche	
			(1)	(2)	(1)	(2)
R.G.I. Westerw.						
R.G.I. Westerw.	Gremevilliers (60)	1970	7,1	10,1	6,7	9,1
Fétuque élev. S 170	Laqueuille	1968	6,1	8,1	5,9	7,0
	St Bonnet (15)	1969	8,1	7,3	4,7	7,0
	Crouelle	1969	15,6	7,2	6,5	7,2
Dactyle Floréal	Laqueuille	1971	9,3	9,2	8,9	8,2
Fléole Maintenon	Laqueuille	1968	4,9	6,4	2,4	5,6
Pécora	Lusignan	1972	5,7	4,1	3,7	5,0

- (1) Première coupe
- (2) Dernière coupe

c) LA DATE DU SEMIS

La date du semis a beaucoup d'importance sur la composition du fourrage la première année : les cycles qui peuvent épier et qui correspondent à un maximum de production sont beaucoup plus pauvres que les autres ; une épiaison à 50% correspond à une herbe moins bien pourvue que si l'épiaison est à 10% (fig. 10).

3) Amendements et fertilisation

a) LES AMENDEMENTS CALCAIRES

La recalcification de sols de semi-altitude au moment de leur reconversion en bonne prairie peut bloquer certains oligoéléments dans le sol et par conséquent diminuer les teneurs dans les fourrages : ainsi, une fétuque élevée de premier semis voit sa teneur en cuivre baisser de 20 à 40% sur tous les cycles par rapport au témoin (tableau 7, tiré de PERIGAUD, 1971 et 1974). Dans le Massif Armoricain, lorsque le pH passe de 5,0 à 7,0, la composition du Ray-Grass d'Italie baisse de 30% pour le cobalt, de 50% pour le zinc et de 75% pour le manganèse (COPPENET, 1973). D'autres exemples donnés à propos de prairies naturelles mettent à l'opposé en évidence que la recalcification augmente les taux de molybdène (PERIGAUD, BELLANGER, 1972).

TABLEAU VII Influence du chaulage et de la fertilisation sur la teneur en cuivre de la fétuque élevée S 170 (Feyt, Corrèze, 1969).

	Cu ppm MS			
	Sans calcaire		Avec calcaire	
	Sans NPK	Avec NPK	Sans NPK	Avec NPK
1 ^{er} coupe	5,8	5,0	3,6	3,4
2 ^e coupe	6,6	5,2	4,4	3,4
3 ^e coupe	7,0	5,0	4,4	3,4

Essai I.N.R.A. : Agronomie, Clermont-Ferrand.

b) LA FUMURE AZOTEE

L'effet de l'azote sur la teneur en oligoéléments des fourrages est très irrégulier, positif ou négatif, insignifiant ou très marqué.

INFLUENCE DE LA FUMURE AZOTÉE SUR LE TAUX DE MOLYBDÈNE

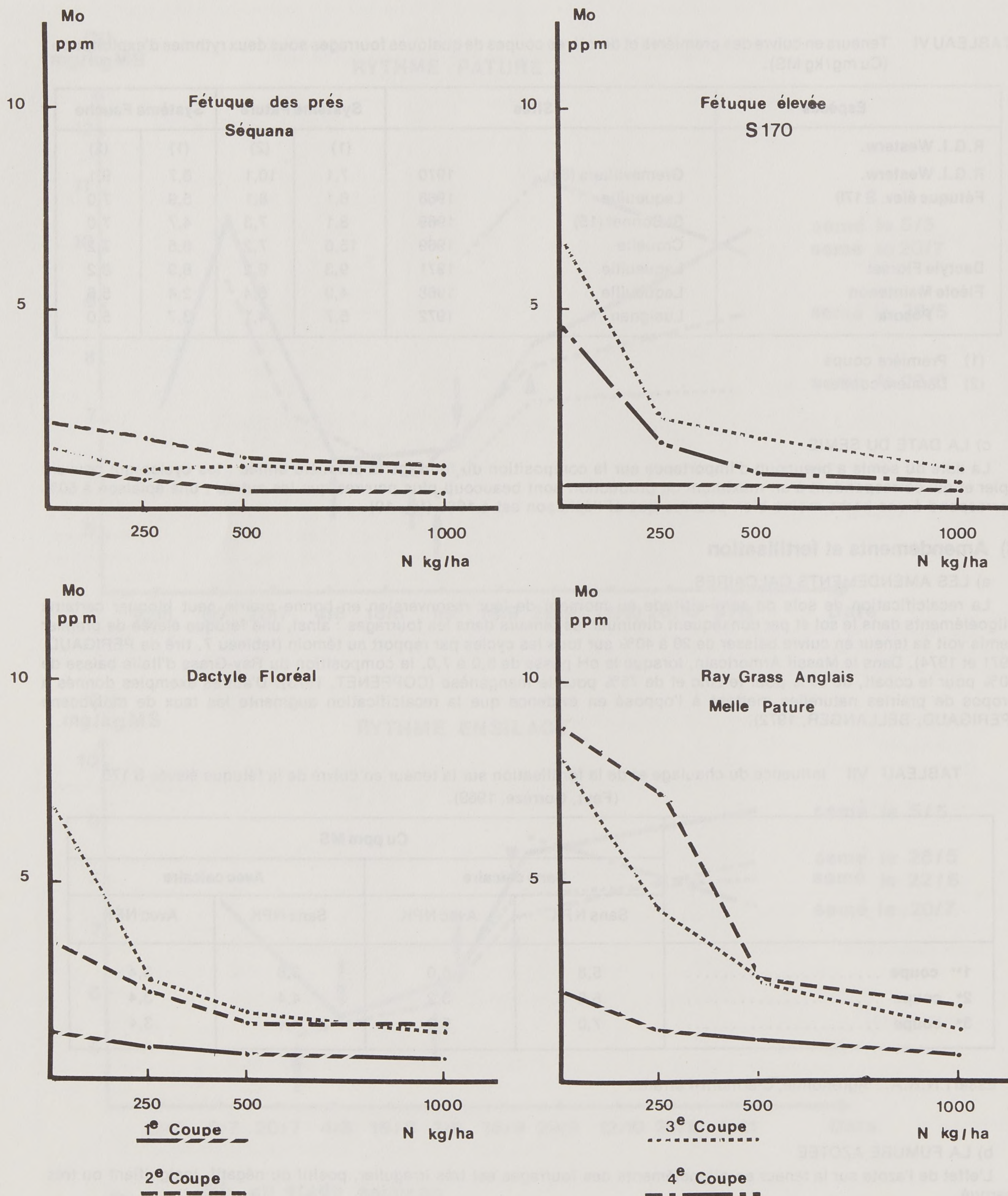


Figure 11

TABLEAU VIII - Influence des différents facteurs intervenant sur la composition en oligoéléments des espèces fourragères
ECARTS MAXIMA OBSERVES EN FRANCE (1968-1974)

	Cu	Mn	Zn	Mo	Co (2)
Ecart maxima dus à :					
- Site	1 - 2,0	1 - 5,0	1 - 2,0	1 - 10,0	1 - 10
- Espèce fourragère	1 - 2,5	1 - 10,0	1 - 1,6	1 - 9,0	
- Variété	1 - 1,4	1 - 1,9	1 - 1,9	1 - 1,8	
- Année	1 - 1,2	1 - 5,0	1 - 1,2	1 - 2,2	
Ecart maxima entre les facteurs de multiplication de la référence * de :					
- Stade : herbe → flor.	0,35 - 0,43	0,35 - 0,50	0,40 - 0,50	0,30 - 0,80	0,50 - 0,90
- N° Cycle : 1 ^{er} → dernier	1,1 - 3,2	1,1 - 2,0	1 - 6	3 - 4	
- Amendements :					
— Ca → + Ca (1)	0,8 - 1,0	0,25 - 1,00	0,50 - 1,0	1 - 2	0,7 - 1,0
- Azote : — N → + N (1)	0,7 - 3,0	0,45 - 3,30	0,7 - 2,0	0,1 - 2,6	0,7 - 3,0

* La référence est le stade herbacé, ou le premier cycle, ou le témoin sans calcaire ou le témoin sans azote.

(1) Pour ces deux rubriques, il a été tenu compte des résultats obtenus à la fois sur espèces pures et prairies naturelles.

(2) Résultats en provenance exclusive du Massif Armoricaïn sur Ray-Grass d'Italie.

A travers nos multiples expérimentations, il ressort qu'il existe une dose optima d'azote correspondant à la teneur maxima en **cuivre** du fourrage. Cette dose se situe entre 0 et 1 000 kg selon les sols, la plante et le cycle. Moyennement, cette dose est faible (0 à 80 kg) dans les sols connus pour leur pauvreté en cuivre (PERIGAUD, 1971) : l'appauvrissement en cuivre du fourrage (de l'ordre de 25-30%) par des fumures plus élevées est alors expliqué couramment par un effet de dilution dans une masse de matière organique formée plus importante. Le tableau 7 montre qu'une bonne fertilisation globale, NPK, sur un sol en cours de reconversion est défavorable. Sur les sols guéris de leur carence initiale, dans le Massif Armoricaïn, l'azote augmente au contraire les teneurs en cuivre du Ray-Grass d'Italie de 5 à 15% (COPPENET, 1973) parfois 35% (travaux les plus récents non publiés).

La spécificité variétale est très marquée. Ainsi, à Lusignan, un apport énorme de 1 000 kg N/ha a augmenté les taux de cuivre en premiers cycles de 48% sur la fléole, de 100% sur la fétuque élevée, alors que 500 kg donnait le maximum, avec 11% seulement, sur la fétuque des prés (PERIGAUD, 1974). Le classement des espèces n'est d'ailleurs pas le même pour tous les cycles.

L'effet de l'azote est, également, souvent bénéfique pour le **zinc** : COPPENET (1973) signale des élévations de teneurs de 35 à 40% sur le Ray-Grass d'Italie lorsque la fumure passe de 30 à 120 kg d'azote/ha. Ailleurs, on peut trouver des teneurs multipliées par 2 (par rapport à un témoin sans azote) ou quelquefois diminuées de 30%.

Le taux de **cobalt** dans le Massif Armoricaïn, est parfois diminué en première coupe, de 25%, mais peut être multiplié par 3 dans d'autres cycles (COPPENET et al., 1972).

Le **manganèse** est souvent considérablement affecté par la fumure azotée, mais de façon étroitement subordonnée à la forme acidifiante ou alcalinisante de cette fumure : le nitrate de chaux est, en général, dépressif tandis que l'enrichissement croît avec la dose d'ammonitrate et encore plus avec le sulfate d'ammonium. (PERIGAUD, 1974). On observe toutefois des effets systématiquement dépressifs de l'ammonitrate, ceci apparemment dans les sols dont le pH est très tamponné (sols calcaires et sols d'altitude).

Le **molybdène** est, le plus souvent, substantiellement diminué par la fumure azotée de type ammoniacotrique, ceci à l'inverse du manganèse et dans des proportions beaucoup plus importantes. Cette chute de teneur est d'autant plus marquée que la plante est plus riche en l'absence d'azote (fig. 11, tirée de PERIGAUD, 1974) : dans les cas extrêmes, les teneurs peuvent être divisées par 9 ou 10 avec 1 000 kg d'azote. Dans le Massif Armoricaïn, 75 kg N/ha diminuent de 50% la teneur en molybdène du Ray-Grass d'Italie. Cependant certains sols calcaires se comportent à l'opposé des autres et permettent une augmentation importante des taux de molybdène par la fumure azotée (même référence).

c) LA FUMURE PHOSPHATEE

Nous disposons de peu d'expérimentations sur espèces pures en ce domaine. Rappelons simplement les essais de remise en valeur de sols d'altitude assainis, dans lesquels la fumure phosphatée tend à diminuer de 15 à 18% le taux de cuivre de la fétuque élevée (PERIGAUD, 1974). COPPENET signale que les scories Thomas, dans le Finistère, baissent les taux de manganèse mais n'affectent ni le zinc, ni le cobalt (COPPENET, 1973).

V CONCLUSION

Le tableau 8 montre l'influence respective des différents facteurs susceptibles de modifier la composition en certains oligoéléments des fourrages. Pour chacun d'eux, il fournit deux chiffres qui sont des indices obtenus par l'exploitation graphique de toutes nos données.

Dans la première série de facteurs, site, espèce, variété, année, les indices traduisent simplement les écarts maxima observés pour le facteur considéré entre les moyennes correspondant aux autres facteurs.

Si les taux de zinc varient dans des limites de 1 à 2, le cuivre de 1 à 2,5, le manganèse et le molybdène subissent des variations beaucoup plus importantes, surtout en fonction du sol et de l'espèce.

Dans la seconde série de facteurs de notre tableau (stade physiologique, n° de cycle, amendements et fertilisation), les indices traduisent deux notions. En effet, on considère d'abord la variation entre les deux situations indiquées pour chaque facteur : par exemple entre le stade herbacé et le stade floraison. La référence stade herbacé est, en sous-entendu, affectée de l'indice 1 ; on indique alors, pour le stade final floraison, les écarts maxima rencontrés par rapport à 1.

Autrement dit, lorsque les deux indices sont inférieurs à 1, ils traduisent une diminution systématique de teneurs entre les deux références indiquées dans le sens des flèches. Inversement, au-dessus de 1, ils traduisent une augmentation. Les deux peuvent être situés de part et d'autre de 1, ce qui indique qu'il peut y avoir soit augmentation soit diminution.

On retrouve sur cette deuxième partie du tableau les faits précédemment signalés de décroissance systématique des teneurs en oligoéléments au cours du premier cycle, d'augmentation entre les premiers cycles (foin) et les derniers, d'influence négative plus ou moins marquée des amendements calcaires, sauf vis-à-vis du molybdène et l'influence très variable de l'azote.

La comparaison des différentes colonnes montre que les facteurs considérés n'agissent pas tous au même degré sur tous les oligoéléments : le molybdène peut réagir beaucoup plus que tous les autres au numéro de cycle et à la fumure azotée, le manganèse aux amendements calcaires...

L'examen de l'ensemble de ce tableau donne, pour chaque oligoélément, l'importance relative des différents facteurs les uns par rapport aux autres.

Ainsi, pour le **cuivre**, le stade et le numéro de cycle et, parfois la fumure azotée interviennent davantage sur les teneurs des fourrages que le site (complexe sol-climat) ; l'espèce est également plus importante que le sol.

Pour le **manganèse**, le premier facteur est l'espèce. Mais le sol, les amendements calcaires, l'année, peuvent aussi être très importants.

Pour le **zinc**, il n'y a aucun facteur très prépondérant par rapport aux autres.

Le **molybdène**, par contre, dépend surtout et substantiellement du sol, de l'espèce fourragère et de la fumure azotée.

En résumé :

Dans notre objectif animal, nous nous attachons essentiellement à la composition du fourrage -et non à son rendement - Or, de nombreux facteurs interviennent pour modifier cette composition, le sol n'y entrant souvent que pour une faible part.

Dans ces conditions, le diagnostic géopédochimique global, à l'échelle d'une grande région, suffit à donner une indication sur la situation moyenne quant à certains oligoéléments (essentiellement Cu-Co-Mn). L'analyse classique du sol au niveau de la parcelle ne permettrait pas d'interprétation valable sauf, éventuellement et très rarement, dans les cas des toxicités... et même dans ces cas, l'analyse interviendrait probablement plus comme une explication d'un fait observé que d'une prévision.

Dans un objectif animal, c'est-à-dire pour des éleveurs, c'est l'analyse du fourrage qui donne des indications précieuses.

La connaissance du comportement des espèces fourragères, des évolutions de teneurs en fonction des stades, des cycles, des amendements, et de la fertilisation peut permettre de diminuer considérablement le nombre de ces analyses coûteuses et même, souvent, d'améliorer les conditions d'alimentation du troupeau par une meilleure exploitation des plantes fourragères.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- COÏC Y., TENDILLE C., 1971. Causes connues de variations quantitatives des oligoéléments dans les végétaux. *Ann. Nutr. Alim.*, **25**, B 97 - B 131.
- COPPENET M., 1970. Les oligoéléments en France. Exemples de problèmes régionaux. I. Le Massif Armoricaïn. *Ann. Agron.*, **21**, (5), 587-601.
- COPPENET M., 1972. Composition minérale des maïs récoltés dans le Finistère. *Fourrages*, **49**, 53-72.
- COPPENET M., 1973. Fertilisation intensive et qualité des fourrages bretons. *Bull. Techn. Inform.*, **281**, 583-591.
- COPPENET M., CALVEZ J., 1967. Les oligoéléments et en particulier le cobalt dans les sols et les fourrages du Finistère. *C.R. Ac. Agr.*, **53**, (12), 939-947.
- COPPENET M., MORE E., 1973. Sur les teneurs en zinc du Ray-Grass et du maïs. *C.R. Ac. Agr.*, **59**, (7), 487-496.
- COPPENET M., MORE E., LE CORRE L., LE MAO M., 1972. Variations de la teneur en cobalt des Ray-Grass. Etude de techniques d'enrichissement. *Ann. Agron.*, **23**, (2), 165-196.
- DUVAL L., MAURICE J., 1970. Le diagnostic des carences en oligoéléments au moyen de l'analyse chimique des sols. *Ann. Agron.*, **21**, (5), 573-586.
- JUSTE C., 1970. Actions toxiques des oligoéléments. *Ann. Agron.*, **21**, (5), 549-571.
- PEDRO G., DELMAS A.B., 1970. Les principes géochimiques de la distribution des éléments-traces dans les sols. *Ann. Agro.*, **21**, (5), 483-518.
- PEDRO G., SCHERER S., 1974. Essai d'interprétation géochimique de la carte pédologique de France (échelle 1/1.000.000). *Ann. Agron.*, **25**, (1), 25-48.
- PERIGAUD S., 1970. Les carences en oligoéléments chez les ruminants en France. Leur diagnostic. Les problèmes soulevés par l'intensification fourragère. *Ann. Agron.*, **21**, (5), 635-669.
- PERIGAUD S., 1971. Liaisons carentielles entre sol, végétaux et animaux. *Ann. Nutr. Alim.* **25**, B327-B378.
- PERIGAUD S., 1974. Oligoéléments et qualité des fourrages : influence de la fumure minérale. *Fourrages*, **57**, 43-60.
- PERIGAUD S., BELLANGER J., 1972. Conséquences de l'intensification fourragère sur la composition en oligoéléments des fourrages. VII^e Congrès Mond. Fertilisants, Vienne-Baden.
- PERIGAUD S., BELLANGER J., LAMAND M., 1972. Les oligoéléments dans les foins en France. *Fourrages*, **52**, 11-37.
- TROCME S., 1970. Influence de la fertilisation et de diverses techniques de culture sur l'alimentation des plantes en oligoéléments. *Ann. Agron.*, **21**, (5), 519-548.

DISCUSSION

M. DUPUY — Vous nous avez présenté des résultats réalisés à partir d'analyses de fourrages, peut-on estimer, dans la mesure où les oligoéléments sont situés dans des molécules organiques, que le coefficient de digestibilité de ces oligoéléments est égal à 100 ? Sinon a-t-on une idée des coefficients de digestibilité des oligoéléments ? Dans certains fourrages on trouve des doses élevées de macroéléments (calcium des légumineuses, phosphore des céréales), une partie des oligoéléments ne serait-elle pas bloquée par la présence justement en quantité élevée de ces macroéléments !

Mme PERIGAUD — M. LAMAND vous parlera de ce problème dans son exposé. Dans le cadre de l'enquête, il est exact que l'on a signalé des carences en cuivre sur des animaux au pâturage. Pourtant au stade pâture, les teneurs en cuivre sont plus élevées qu'au stade foin. Il est exact qu'il ne faut pas s'arrêter uniquement aux chiffres pour interpréter un résultat d'analyse.

Dr. SOYEUX — Vous signalez que la plupart des fourrages sont carencés en cuivre, par ailleurs dans l'espèce porcine à la suite des travaux de BRAUDE on utilise une supplémentation en sulfate de cuivre à dose élevée. Au départ, elle était de l'ordre de 150 à 250 ppm. La législation européenne impose de ne pas dépasser 125 ppm. Il en résulte qu'une quantité importante de cuivre de la ration est éliminée par les fèces de l'animal. Un certain nombre de biologistes se sont inquiétés sur les répercussions écologiques de cette fuite du cuivre et les risques éventuels d'une surcharge en cuivre par épandage du lisier. Quelle est votre position sur ce sujet ? Est-ce un risque ou une chance de pouvoir remonter la teneur en cuivre des fourrages carencés ?

M. COPPENET — Avec des apports de lisier non dilué de 100 m³/ha/an, correspondant à une ration de porcs charcutiers supplémentée à 150 ppm de cuivre, on met un peu plus d'un siècle (125 ans) pour atteindre le seuil de toxicité qui est situé à environ 600 kg de Cu/ha. Mais la toxicité du zinc est du même ordre de grandeur et pour un "complément minéral porc" à 5‰ de zinc, il faut 110 ans pour atteindre les 600 kg/ha si l'on épand 100 m³/ha/an de lisier. On peut estimer que 95% du cuivre ingéré se retrouve dans les déjections pour une ration fortement supplémentée en cuivre. Ces données sont valables pour des sols légèrement acides, de pH voisin de 6, où l'on peut espérer une atténuation de la toxicité par les amendements calcaires.

Les apports importants de lisiers de porcheries peuvent donc guérir un sol carencé en cuivre puis enrichir progressivement le sol et les végétaux récoltés - mais nous savons que les plantes fourragères s'enrichissent difficilement en cuivre - enfin, à la limite, intoxiquer d'une manière irréversible les sols en question.

M. ROCHET — Vous avez dit, Mme PERIGAUD, qu'il faudrait que l'éleveur s'initie à tous les facteurs pouvant faire varier la teneur en oligoéléments d'un fourrage (stade, années, etc...). Cela me semble difficile sinon impossible. De plus, les conclusions que l'on peut tirer d'analyses peuvent être très variables. Quelle attitude faut-il adopter, sinon de prendre les normes minimums et compléter en fonction de celles-ci ?

Mme PERIGAUD — Il y a deux attitudes possibles et deux niveaux de production possibles. Ou bien on travaille de façon globale et l'on prend les normes moyennes et l'on considère qu'il faut compléter partout avec des nuances pour le manganèse. On peut aussi aborder le problème de façon plus fine et compléter rationnellement. Etant donné que le problème de la digestibilité n'est pas encore bien au point, je pense qu'une connaissance de la plante au point de vue des teneurs et du comportement général doit pouvoir aider certains éleveurs. Il faut retenir la baisse de teneur en fonction du stade et la différence entre graminées et légumineuses pour le manganèse. On a eu à Theix, des ennuis inattendus avec des bouvillons sur luzerne déshydratée. En analysant la ration, on s'est aperçu que celle-ci était carencée en manganèse. On aurait du savoir que si on ne donne que des bouchons de luzerne déshydratée, il n'y a pas assez de manganèse.

ANONYME — L'iode suit-il, au cours de la végétation, la même évolution que les autres oligoéléments. Quel est le point des essais faits à l'étranger ?

Mme PERIGAUD — Nous ne faisons, à Theix, pas encore d'analyse d'iode dans les fourrages. En Grande-Bretagne, l'équipe de HURLEY a étudié la problème de la carence en iode sur les vaches laitières. Ils ont essayé de voir qu'elle était l'influence de la fertilisation du sol sur la teneur en iode des fourrages. On retrouve une baisse de teneurs avec le stade et, d'autre part, la fumure azotée a pour effet de faire baisser la teneur en iode.

Dr. SIMOULIN — On ne parle que des plantes, pourtant une vache boit 50 à 200 l d'eau par jour, quelle est l'importance des oligoéléments apportés par l'eau ?

Mme PERIGAUD — Les oligoéléments métalliques (cuivre, cobalt, etc...) passent assez peu dans l'eau car ils sont énergiquement retenus par les colloïdes du sol. Pour l'iode, nous n'avons pas de données.

Dr. LAMAND — Les teneurs en oligoéléments des eaux sont très faibles, trop faibles pour influencer sur la teneur de la ration. On connaît quelques exceptions. Par exemple, les eaux de la ROCHE POSAY sont riches en sélénium.

M. RIVOIRE — Vous avez signalé que le molybdène peut atteindre des doses toxiques quand il n'y avait pas d'azote, ce qui est souvent le cas chez les éleveurs qui fertilisent peu. Est-ce un risque sérieux ou exceptionnel ?

Mme PERIGAUD — Lorsqu'il s'agit de prairies naturelles, donc de prairies complexes, ces risques sont minimes. Dans le cadre de notre enquête on a décelé des teneurs supérieures à 2 ppm mais inférieures à 3 ppm, limite de toxicité. Nous n'avons dépassé ce seuil que dans un nombre de cas extrêmement limité dans le secteur du Bassigny et de l'Aube. Il y a un effet tampon entre les espèces et, d'autre part, même sans fertilisation azotée, le passage des animaux apporte de l'azote. Au total, il y a peu de risque en prairies naturelles. Par contre, avec les espèces pures, je serai plus réservée. J'ai obtenu, sur les dactyles, des teneurs très élevées en molybdène (7 à 8 ppm) à Lusignan et à Theix. Pour les dactyles il est donc prudent de doser le molybdène.



DIAGNOSTIC ANALYTIQUE DES CARENCES ECHANTILLONNAGE ET CONTAMINATIONS METHODES D'ANALYSE

J. BELLANGER

Station de Physiopathologie de la Nutrition
I.N.R.A. - C.R.Z.V. Theix
63110 BEAUMONT

I INTRODUCTION

Les oligoéléments ont été très longtemps méconnus car leur détermination dans les milieux animaux ou végétaux a posé un problème très difficile à résoudre pour l'analyste. Cette difficulté résulte de leur faible concentration dans le milieu (de 0,001 à 1 000 ppm) et aux risques très grands de contamination à l'échantillonnage et pendant le dosage.

Il faut remarquer que le développement des connaissances dans le rôle des oligoéléments est dû en grande partie aux possibilités nouvelles offertes et plus spécialement à l'application de nouvelles méthodes physiques d'analyse.

Parmi les méthodes les plus employées, citons la spectrométrie d'émission, la spectrométrie de flamme, d'absorption atomique, la polarographie, la spectrofluorescence, la spectrométrie de masse et l'analyse par radioactivation. La plupart de ces méthodes demandent un investissement financier important et un encadrement technique par un personnel de haut niveau. Une seule, la spectrométrie d'absorption atomique a connu un succès mondial ces dix dernières années. Si le chimiste peut maintenant répondre pratiquement à chaque demande de son collègue nutritionniste, exception faite pour l'iode et à un degré moindre pour le cobalt, il convient cependant de choisir avec discernement l'échantillon que l'on va doser.

Dans la suite de notre exposé nous n'aborderons pas les oligoéléments tels que le plomb, le mercure, le strontium, l'aluminium que l'on peut trouver accidentellement à de fortes concentrations dans les milieux animaux et végétaux. Nous ne considérerons que les oligoéléments jugés comme indispensables pour lesquels des problèmes de carence sont connus et qui sont : le cuivre, le manganèse, le zinc, le cobalt, le sélénium et le molybdène. Ce dernier élément étant étudié plus à titre d'élément interférant avec le cuivre que d'élément donnant des carences. L'iode, bien qu'élément indispensable, ne sera pas abordé. Les personnes intéressées par ce sujet peuvent consulter la thèse de CABELLO (1973) sur la détermination de l'iode hormonal. Malheureusement, en ce qui concerne les fourrages, les chimistes butent sur le problème de la minéralisation.

Après avoir envisagé les teneurs en oligoéléments dans différents milieux nous passerons en revue rapidement les méthodes d'analyse élément par élément.

Le choix du prélèvement (aliment, tissu animal...) ainsi que celui du paramètre à analyser (élément lui-même, système enzymatique...) sera étudié brièvement car ce problème a été traité longuement par LAMAND (1971). Par contre, le problème de la toxicité du cuivre et son contrôle sera étudié plus en détail.

Nous insisterons plus spécialement sur les problèmes de contamination et les précautions à prendre au moment de l'échantillonnage et pour terminer nous essaierons de définir une politique concernant les dosages à demander.

II TENEURS EN OLIGOELEMENTS

Dans les tableaux 1 et 2 nous allons retrouver les concentrations habituellement rencontrées pour différents milieux.

TABLEAU I - Teneurs en oligoéléments

	Cu		Mn		Zn	
	Ordre de grandeur	Seuil de carence	Ordre de grandeur	Seuil de carence	Ordre de grandeur	Seuil de carence
Fourrages ppm / MS	3 à 15	10	20 à 600	50	15 à 80	50
Sang (µg / ml)	20 à 220	70	Traces	—	30 à 200	70
Foie ppm / MS	5 à 700	20	1 à 10	—	100	—
Poils ppm / MS	3 à 15	7 à 8	1 à 100	—	120 à 400	—
Lait ppm / MS	0,15 à 1,15	5 à 10	0,2 à 0,4	50	15 à 38	50

TABLEAU II - Teneurs en sélénium et cobalt

	Sélénium		Cobalt	
	Ordre de grandeur	Seuil de carence	Ordre de grandeur	Seuil de carence
Fourrages ppm / MS	0,01 à 0,2	0,1	0,02 à 1* * Fourrage contaminé	0,1
Sang (µg / 100 ml)	0,9 à 2	—	0,007 - 0,036 0,17 - 1,5 0,35 - 6,3	—
Foie ppm / MS	0,4 à 1	—	0,2 à 0,4	0,10
Lait ppm / MS	0,08 à 0,40	0,1	Vit. B12 20 à 40	Vit. B12 0,02 à 0,04

Du tableau 1, nous tirons les remarques suivantes :

Certains paramètres, tels que le manganèse du sang ne sont pas dosables par les méthodes classiques. De ce fait, il est difficile de fixer une limite de carence. De même, pour les poils, nous n'avons pas voulu retenir un seuil pour le manganèse et le zinc.

Pour le tableau 2, nous n'avons pas donné de chiffres concernant le cobalt du lait, mais celui de la vitamine B12 car pour les ruminants, c'est la seule forme de cobalt utilisable par le jeune. Pour le sang, les teneurs varient selon les auteurs.

III METHODES D'ANALYSE

Le cuivre, le manganèse, le zinc seront dosés de préférence par absorption atomique. Pour les aliments, les méthodes sont très nombreuses. Nous pouvons recommander celles proposées par la France à ses partenaires du Marché Commun en vue d'unification à l'échelon européen. Elles sont basées sur une minéralisation au four à 475°C suivie d'une reprise des cendres à l'acide chlorhydrique puis passage au spectrophotomètre. Ces méthodes sont publiées par l'AFCA et le SYNPA (41 bis, boulevard de Latour Maubourg, 75007 PARIS). Lorsque la quantité de cuivre est trop faible il est possible d'extraire ce cuivre en formant un complexe avec l'ammonium pyrrolidine dithiocarbamate, que l'on extrait avec la méthylisobutylcétone. Les personnes intéressées par l'absorption atomique peuvent consulter le livre de PINTA (1971).

Dans le fascicule AFCA nous trouvons également des méthodes pour le fer, le mercure et le sélénium. Cette dernière méthode a été proposée par LAMAND (1969). Elle permet de doser des quantités de sélénium comprises entre 0,01 et 0,5 µg.

Le dosage du sélénium n'étant pas encore possible par absorption atomique, cette méthode utilise la spectrofluorimétrie.

Le sélénium à la valence 4 forme à pH 1 un complexe avec une orthodiamine aromatique : la diamino 2-3 naphthalène, un piazsélénole fluorescent, extractible dans le cyclohexane. Le piazsélénole est excité par un rayonnement de longueur d'onde de 366 nm, il émet alors un rayonnement de fluorescence dont le maximum se situe à 520 nm.

L'échantillon est mis en solution par une attaque nitroperchlorique et le sélénium à la valence VI, non réagissant, est réduit à la valence IV par de l'acide chlorhydrique à l'ébullition.

Le dosage du sélénium n'est pas particulièrement facile car il faut d'une part, éviter les pertes de sélénium à la minéralisation et d'autre part, éliminer toutes les contaminations susceptibles de provoquer une fluorescence parasite.

Les déterminations du cobalt par les méthodes colorimétriques classiques (sel nitroso R par exemple) ne donnent pas de résultats véritablement satisfaisants. Le dosage direct par absorption atomique n'est pas possible en raison des très faibles concentrations. Quelques méthodes par extraction, parues ces dernières années, essayées dans notre laboratoire ne nous ont pas donné satisfaction. Leurs auteurs ont d'ailleurs souvent apporté des modifications ce qui prouve bien que ces méthodes n'étaient pas parfaitement au point.

Au début de cette année nous avons essayé une nouvelle méthode mise au point par HOCQUELLET du Laboratoire Municipal de Bordeaux que nous pouvons recommander après presque une année d'expérience. Cette méthode est publiée dans les Annales des Falsifications et de l'Expertise Chimique et elle sera très certainement reprise par l'AFCA.

Le principe en est le suivant :

- L'aliment de l'ordre de 5 à 10 g est minéralisé au four à 450°C et repris par l'acide chlorhydrique, après volatilisation de la silice par l'acide fluorhydrique.

Le cobalt est extrait de la solution chlorhydrique par formation d'un complexe avec l'1 nitroso 2 naphthol. Ce complexe est solubilisé dans le chloroforme puis purifié très longuement. Le chloroforme est un solvant qui "brûle" mal en donnant une flamme instable aussi est-il évaporé à sec. Le cobalt est ensuite repris par un petit volume d'acétate d'isoamyle.

La méthode par absorption atomique est encore longue puisque nous dosons environ 25 fourrages par semaine. Cependant, elle est beaucoup plus reproductible que la méthode colorimétrique au sel nitroso R. Nous avons obtenu pour un foin, incorporé dans chaque série de dosages, un coefficient de variation de 4,6%. L'utilisation des méthodes d'atomisation sans flamme a été également envisagée par HOCQUELLET puisqu'il propose une variante avec le four MASSMAN. La purification du complexe n'est plus nécessaire et l'on peut déceler jusqu'à 0,001 mg de Co/kg sur une prise d'essai de 5 à 10 g.

Pour le molybdène, comme pour le cobalt, la détermination directe par absorption atomique n'est pas possible. A la différence du cobalt, les méthodes colorimétriques permettent de doser cet élément sans problème. Nous avons retenu la méthode de DUVAL (1971) dont le principe est le suivant :

Le molybdène à la valence V forme avec les ions thiocyanates ou sulfocyanures un complexe coloré jaune orange extractible dans l'acétate de butyle et absorbant à 468 nm. Le fer, élément interférant, est réduit par addition d'acide ascorbique en présence de cuivre et de chlorure stanneux. Le molybdène à la valence VI, non réagissant est réduit en molybdène V par le thiocyanate. La prise d'essai est voisine de 5 g et la minéralisation s'effectue au four à 650°C. Le coefficient de variation, pour un foin étalon, se situe entre 3 et 5%.

Nous utilisons également l'absorption atomique pour la détermination du cuivre et du zinc plasmatique. Le plasma (1 ml) est déprotéinisé avec les acides chlorhydrique et trichloracétique.

Une aliquot de la solution surnageante est diluée avec de l'eau déminéralisée. Le cuivre et le zinc de la solution sont mesurés directement au spectrophotomètre. Les plasmas sont ainsi dilués au 1/5 ce qui permet de doser le cuivre et le zinc sans extraction préalable.

IV REPRESENTATIVITE DES RESULTATS

Notre laboratoire reçoit chaque année un fourrage de nos collègues hollandais de OOSTERBECK. Cet échantillon est expédié conjointement à environ 35-40 laboratoires en Europe. Chaque laboratoire détermine, par sa méthode, les éléments qu'il a l'habitude de doser. Les résultats obtenus cette année sont résumés dans les tableaux 3, 4 et 5. Nous avons noté le nombre de laboratoires, les valeurs extrêmes en restant dans l'intervalle $\bar{x} \pm 2 \sigma$, l'écart type, la moyenne, le coefficient de variation et les valeurs éliminées. Pour le sélénium, les valeurs notées sont celles des cinq laboratoires qui l'ont dosé. Mis à part le phosphore, nous voyons que les coefficients de variation sont encore trop élevés, le sodium étant le plus mauvais. Il est possible, pour le magnésium que certains résultats soient obtenus par une méthode colorimétrique (jaune de Titane) ce qui expliquerait un coefficient de variation qui nous semble trop grand.

TABLEAU III - Coefficients de variation interlaboratoires

	P %	Ca %	Na %	K %
Nombre de laboratoires	34	34	31	33
Valeurs extrêmes	0,28 à 0,34	1,26 à 1,59	0,16 à 0,23	2,10 à 2,59
Moyenne	0,31	1,42	0,19	2,33
Coefficient de variation %	4,8	6,8	9,8	6,9
Valeurs supérieures à $\pm 2 \sigma$	0,35	1,16	0,14	2,67 et 2,80

TABLEAU IV - Coefficients de variation interlaboratoires

	Mg %	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
Nombre de laboratoires	32	27	30	28
Valeurs extrêmes	0,13 à 0,20	455 à 670	88 à 118	40 à 53
Moyenne	0,17	573	106	46
Coefficient de variation %	8,1	10,4	8,7	9,1
Valeurs supérieures à $\pm 2 \sigma$	0,04	275	80 81 127	26 et 55

TABLEAU V - Coefficient de variation interlaboratoires

ppm	Cu	Co	Mo	Se
Nombre de laboratoires	28	16	14	5
Valeurs extrêmes	5,3 à 9,6	0,12 à 0,63	0,91 à 1,63	Soit : 0,06 0,06 0,07 0,05 0,17
Moyenne	7,7	0,26	1,32	
Coefficient de variation %	15,0	36,5	17,2	
Valeurs supérieures à $\pm 2 \sigma$	1,3 5,0 10,2	2,17 1,50 2,65	0,80 2,00 14,00	

Le manganèse, le fer et le zinc ont un coefficient de variation voisin de 8 à 10%, celui du cuivre est nettement plus important, mais cela s'explique par les faibles concentrations et l'obligation de travailler en expansion d'échelle. Pour le molybdène, nous expliquons ce chiffre élevé par les nombreuses méthodes utilisées. Quant au cobalt, nous n'ajouterons aucun commentaire si ce n'est qu'il aurait été préférable, pour certains laboratoires, de s'abstenir. Les bons résultats du sélénium peuvent s'expliquer par le fait que les laboratoires participants sont spécialisés en cet élément.

Nous ne traiterons pas en détail, du choix du prélèvement et du paramètre à doser mais nous ouvrirons cependant une parenthèse à propos des poils. Dans le tableau 1 nous n'avons donné des chiffres que pour le cuivre quant au seuil de carence. En effet, l'analyse du cuivre pilaire semble être un moyen intéressant de diagnostic des carences en cuivre. Lors d'une étude déjà ancienne (BELLANGER, 1968), nous avons prélevé et dosé, sur 250 animaux d'abattoirs, le sang, le foie et le poil. Les teneurs varient entre 3 et 15 ppm avec une valeur moyenne de 9,5 ± 0,3 ppm/MS.

Nous avons rassemblé, dans le tableau 6, les renseignements que l'on peut obtenir a priori, suite à l'étude de la cuprémie, du cuivre hépatique et pilaire. On voit, qu'à partir d'une seule analyse, la cuprémie est le critère le plus restrictif et qu'il suffit de doser, en plus, le cuivre pilaire pour obtenir un pourcentage d'animaux susceptibles de carence identique à celui obtenu par une analyse complète. En ce qui concerne le zinc et surtout le manganèse, les résultats sont beaucoup plus discutables.

TABLEAU VI - Diagnostic de la carence en cuivre

Un critère retenu			Deux critères retenus			Trois critères retenus		
Tissus	N	%	Tissus	N	%	Tissus	N	%
Cu foie < 20 ppm	46	18,4	Cu foie < 20 Cu sang < 70	10	4,0	Cu foie < 20		
Cu sang < 70 µg/100 ml	11	4,4	Cu foie < 20 Cu poil < 8	16	6,4	Cu sang < 70	4	1,6
Cu poil < 8 ppm	33	13,2	Cu sang < 70 Cu poil < 8	4	1,6	Cu poil < 8		

Pour le zinc, l'interprétation des résultats est très difficile car les poils des bovins peuvent être très facilement contaminés par le matériel galvanisé (seaux, cornadis). Ainsi NOUGUES et LAMAND (1972) ont trouvé, lors d'une étude faite sur plusieurs troupeaux de l'I.N.R.A., certains troupeaux dont la teneur du zinc pilaire s'élevait de 100-120 ppm (teneurs normales) à plus de 600 ppm. Les animaux de ce troupeau avaient les poils noircis par les cornadis.

Pour le manganèse, les résultats sont franchement décevants. Nous avons été amenés, en Combrailles, à faire des prélèvements de sang et de poils sur des animaux suspectés de carence en cuivre. Nous avons plusieurs prélèvements de poils par exploitation ainsi que des foin. Les teneurs en manganèse des foin sont, pour la plupart, supérieures à 200 ppm et voisines de 400 ppm. Le manganèse pilaire, lui varie d'une manière incohérente puisque nous avons trouvé des valeurs aussi basses que 2,2 ppm pour une moyenne de 12,4 ppm.

Ainsi, dans un même troupeau, le manganèse pilaire va varier dans des proportions telles qu'il sera impossible de fixer un seuil de carence. L'écart type des données peut faire penser à des contaminations par la terre éventuellement.

V TOXICITE DU CUIVRE

La toxicité du cuivre peut être, soit aigüe et accidentelle à la suite de traitement aux sels de cuivre des vergers, vignes ou herbages, soit due à l'utilisation de sels de cuivre, lors de traitements antiparasitaires. Elle peut être chronique lorsque l'animal a accès à une source de cuivre qui ne lui est pas destinée. Elle se rencontre surtout chez le mouton.

Il y a deux phases :

- une première phase d'accumulation qui ne s'accompagne d'aucun symptôme.
- la deuxième phase, très courte, est marquée par l'apparition des symptômes (anémie hémolytique, hémoglobinémie, méthémoglobinémie, hémoglobinurie et ictère). L'examen post-mortem révèle un ictère généralisé avec un foie coloré en jaune.

Les différents paramètres à la disposition du chimiste sont :

- **le cuivre hépatique et le cuivre des reins.** Le cuivre hépatique s'élève jusqu'à 1 000 à 3 000 ppm. Le cuivre du rein est de l'ordre de 1 300 à 1 500 ppm. Nous recommandons ces 2 prélèvements en vue d'un contrôle d'intoxication.

- **le cuivre sanguin.** La cuprémie s'élève au moment de la crise jusqu'à 2 000 µg/100 ml puis elle revient à des niveaux subnormaux si l'animal survit. L'étude de la cuprémie est donc intéressante mais il se pose alors le problème de l'expédition des échantillons.

On peut également étudier l'hématocrite, l'hémoglobine totale, la méthémoglobine. Ces paramètres s'élèvent jusqu'à l'apparition de la crise puis chutent jusqu'à la mort de l'animal.

Les systèmes enzymatiques indicateurs de la fonction hépatique sont également perturbés. Si les variations de la transaminase glutamique oxalacétique, de la déshydrogénase lactique sont précoces, puisqu'elles commencent 6 à 8 semaines avant la crise, elles ne sont pas spécifiques. Elles peuvent être utilisées en cas de suspicion de surcharge en cuivre d'un aliment.

VI ECHANTILLONNAGE ET CONTAMINATIONS

Le choix du milieu à doser est plus souvent imposé par des impératifs pratiques que scientifiques. Ainsi, même si le foie est le meilleur tissu susceptible de refléter une carence, nous ne nous hasarderons pas à demander à un vétérinaire de pratiquer une biopsie.

En ce qui concerne l'échantillonnage, nous supposons que le problème de la représentativité est résolu. Cependant, trop souvent nous recevons, lorsqu'il s'agit de tester une ration, l'unique échantillon de foin alors qu'il est primordial de connaître les teneurs en oligoéléments du condiment minéral et éventuellement du concentré ainsi que les quantités distribuées. Pour éviter l'hémolyse, les sangs doivent être centrifugés dès le prélèvement et les plasmas séparés immédiatement. De même, si la prise de sang peut être programmée, il est préférable de l'expédier en début de semaine au laboratoire.

Le problème des contaminations est plus grave que l'on ne pense. Il peut y avoir contamination au laboratoire mais nous n'aborderons pas ce problème qui est celui du chimiste.

Les contaminations peuvent être directes ou indirectes. La contamination par les cornadis est une contamination directe. Les ensilages de pH acide peuvent libérer le zinc des récipients lors du séchage. Il faut également penser au pommades au zinc pour soigner les plaies. Les peintures, l'aluplast, utilisés pour marquer un tube contiennent du zinc. L'eau qui a séjourné dans un seau galvanisé va contaminer la pipette que l'on rince.

Les contaminations peuvent être indirectes lorsque l'on rince une pipette, on va favoriser l'hémolyse et de ce fait libérer du fer et zinc. En effet les globules rouges contiennent environ 75 à 88% du zinc du sang contre 12 à 22% dans le plasma. Ainsi, l'analyse d'un plasma hémolysé n'aura plus de valeur. Le cuivre, souvent cité comme exemple d'élément contaminant, pose peu de problèmes au moment des prélèvements à condition de ne pas utiliser les anciennes aiguilles en laiton.

Nous voyons que le problème le plus important est celui du zinc. Pour éviter tout risque de contaminations pendant le transport, il faut utiliser pour l'emballage les sacs plastiques épais supérieurs à 10/100°.

VII CONCLUSION

Lors de l'étude des méthodes d'analyse, nous avons vu que certains éléments pouvaient être dosés à partir d'une même solution de minéralisation, tel le cuivre, le manganèse, le zinc dans les fourrages ou d'une même prise d'essai (cuivre et zinc plasmatique). D'autres, tels le cobalt, le molybdène, le sélénium demandent une minéralisation spéciale. De plus, leur détermination est longue et par conséquent le prix de revient de l'analyse va augmenter. Il convient donc, lorsque l'on demande une analyse, de grouper par exemple, le cuivre, le manganèse et le zinc et d'éviter de demander sans suspicion de carence, une analyse coûteuse telle le sélénium et le cobalt. Dans une période d'austérité, il faut rechercher un rapport qualité/prix qui soit favorable.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A.F.C.A. - S.Y.N.P.A., 1973. Méthodes d'analyse des aliments des animaux.

BELLANGER J., 1968. Relations entre les taux de cuivre sanguin, hépatique et pileire chez 250 animaux d'abattoir. Ann. Rech. Vétér., **1**, 127-139.

CABELLO G., 1973. Iodémie hormonale : mise au point d'une méthode analytique fiable et dosage de ce paramètre chez quelques ruminants. Thèse n°747, Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

DUVAL L., 1971. Le dosage du molybdène dans les végétaux. Examen des divers procédés de détermination. Mise au point d'une méthode colorimétrique au thiocyanate. Ann. Agron., **22**, 127-147.

HOCQUELLET P., 1974. Dosage du cobalt dans les aliments des animaux. Ann. Fals. Exp. Chim., **67**, N° 721-722, 495-511.

LAMAND M., 1969. Dosage du sélénium dans les produits biologiques et mélanges minéraux alimentaires. Ann. Fals. Exp. Chim., **4-12**.

LAMAND M., 1971. Diagnostic des carences en oligoéléments chez l'animal. Ann. Nutr. Alim., **25**, B379-B410.

NOUGUES C., LAMAND M., 1972. Possibilités et limites de l'utilisation du poil dans le diagnostic de la carence en zinc chez le bovin. Ann. Rech. Vétér., **3**, 505-509.

PINTA M., 1971. Spectrométrie d'absorption atomique. Application à l'analyse chimique. Ed. MASSON, Paris.

DISCUSSION

Dr. SOYEUX — Pour la préparation de l'échantillon, quels types de broyeur conseillez-vous ? Quels matériaux faut-il éviter ?

En vue d'un dépistage, vaut-il mieux doser les oligoéléments sur du plasma de mélange au niveau d'un troupeau ou sur des échantillons de sang individuels ?

M. BELLANGER — Si vous ne dosez pas le fer, il existe toute une gamme de broyeurs à couteaux qui peuvent convenir à condition de les entretenir régulièrement, de les brosser après chaque échantillon et de ne pas les laisser dans un endroit humide. Pour le fer, il faut utiliser des broyeurs à billes avec pots et billes en agate par exemple.

Pour les plasmas, nous préférons des échantillons multiples, cinq à dix prélèvements par exploitation. En effet, les cuprémies ne sont pas toujours homogènes à l'intérieur d'un même troupeau, les variations individuelles sont importantes. De ce fait, si vous obtenez après dosage de quatre animaux une moyenne de 100 µg/100 ml vous pouvez avoir effectivement quatre animaux à 100 µg/100 ml ou trois animaux à 66 µg/100 ml et un à 200 µg/100 ml. La limite de carence étant à 70 µg/100 ml, les conclusions seront différentes.

Dr. BROCHART — La variabilité individuelle est assez importante dans un même troupeau. Vous risquez, en prenant un échantillon de mélange, d'annuler, en raison de l'existence des extrêmes, des variations qui sont importantes et d'avoir une figure moyenne qui ne sera absolument pas révélatrice de ce qui peut se passer au niveau individuel. La pratique de l'échantillon moyen me paraît condamnable.

M. DUPUY — Je suis effaré en regardant la grandeur des coefficients de variation des analyses. On peut se demander si, par ces méthodes d'analyse, on peut avoir une certaine fiabilité des dosages d'oligoéléments dans les fourrages, d'autant plus, qu'on a vu au cours des exposés précédents qu'en fait on se trouve dans des zones de subcarences.

M. BELLANGER — J'ai choisi ces exemples dans la chaîne Hollandaise mais nous les retrouvons dans d'autres chaînes. Mon intention était de montrer qu'il pouvait exister, dans certains cas, des laboratoires qui tout en restant sérieux n'utilisaient peut-être pas toujours la bonne méthode. Néanmoins, il faut remarquer que ces coefficients sont obtenus par l'analyse statistique des résultats obtenus par environ 30 laboratoires, que les méthodes ne sont pas standardisées. De plus, même pour les éléments majeurs, on obtient un coefficient de variation de 5%. En conclusion, ne soyons ni trop pessimistes, ni trop optimistes. Les chiffres retenus pour déterminer les besoins des animaux sont donnés, eux aussi, avec des variations qui dépassent souvent les 50%.

Dr. BROCHART — Le problème est d'arriver à éliminer progressivement tous les laboratoires farfelus qui existent au niveau mondial, européen et français. De nos jours, s'improvisent toute une série de laboratoires soit-disant d'analyses qui sont ni plus ni moins que de vulgaires escroqueries. Il faut que cela se sache, il faut faire des chaînes d'analyses en France et arriver à moraliser les laboratoires d'analyses au même titre qu'on moralisera le marché des compléments minéraux. Cela sera long.

M. BELLANGER — Dans la chaîne, il y a deux à trois laboratoires par pays et en fait il y a peut-être 5% de laboratoires farfelus mais c'est parmi les éléments qui sont les plus difficiles à doser (cuivre, cobalt, molybdène, sélénium) qu'on trouve les coefficients de variation les plus importants. Je suis d'accord, pour le cobalt, il y a trois laboratoires qui doivent revoir leur méthode.

M. THEILER — Quelle est la nature de l'échantillon de OOSTERBECK et comment peut-on se le procurer ?

M. BELLANGER — Je crois que c'est une luzerne. J'ai été inscrit à cette chaîne par l'intermédiaire de Jouy-en-Josas. Il y a également la chaîne du BIPEA, qui ne dose pas que des fourrages.

ANONYME — Je reviens sur la question de M. SOYEUX concernant les plasmas de mélange. Excusez-moi de relancer la polémique, mais c'est important quand on fait un profil métabolique et cela dépasse le cadre des oligoéléments.

Dr. BROCHART — D'après votre raisonnement, il serait plus intéressant d'avoir un échantillon moyen pour annuler les variations individuelles, dans la mesure où le troupeau vous intéresse plus que l'individu. Vous considérez que l'animal est un individu standard qui va réagir identiquement à des conditions alimentaires données. Or, ce n'est jamais le cas. Ce sont les cas extrêmes qui nous intéressent parce que dans un même troupeau, vous allez avoir des animaux carencés ou non, certains vont extérioriser la carence, d'autres pas et qui vont être à des stades de gestation, des niveaux de production, etc... différents. Il faudrait avoir des animaux absolument homogènes sur tous les paramètres pour arriver à un échantillon moyen représentatif.

Dr LAMAND — J'ai eu la chance de réussir une carence expérimentale en cuivre chez les brebis, mises sur herbe jeune assez pauvre en cuivre. J'ai obtenu au bout de deux mois et demi une carence biochimique grave chez deux animaux sur dix (plasma nettement abaissé). Les huit autres n'ont pas montré de symptômes et cependant à l'abattage ils avaient des stocks hépatiques très faibles. Il est important d'avoir une vue aussi bonne que possible par un sondage aussi représentatif que possible dans le troupeau car il faut bien remarquer que tous les accidents de carences en oligoéléments sont de type aléatoire. Il s'agit de noter une fréquence d'accident et on ne réussit jamais, dans les meilleures conditions, à avoir 100% d'animaux carencés ou à l'inverse à n'avoir aucun animal carencé, les animaux ont un comportement qui leur est propre.

Mme PERIGAUD — Pour obtenir un diagnostic au niveau de l'exploitation, on peut faire des prélèvements de sang sur un certain nombre d'individus. Mais ce sont les foin de l'exploitation qui représentent le mieux la moyenne de ce qui est mangé par l'ensemble des animaux et ceci indépendamment de leur comportement individuel. On se sert énormément des analyses des aliments de la ration de base. J'insiste sur le fait que les prélèvements doivent être extrêmement représentatifs des foin de l'exploitation. Il ne faut pas mélanger les premières et secondes coupes, ne pas perdre les feuilles qui sont plus riches que les tiges. Sans précautions, on peut obtenir des valeurs qui varient du simple au double, et même au triple. Eventuellement, s'il y a dans le grenier des foin d'origine différentes, il faut se résigner à faire deux ou trois prélèvements en marquant bien à chaque fois les commémoratifs correspondants, et ensuite, pour vérifier si la ration n'est pas carencée, il faut tenir compte du pourcentage de chaque prélèvement par rapport à l'ensemble de la ration.

Dr. GANSEL — A Theix, vous chargez-vous de faire des analyses de fourrages, de sang et de poil ? Quel est le prix approximatif pour l'éleveur ?

M. BELLANGER — Nous n'assurons pas les dosages pour le public. Vous pouvez faire parvenir vos échantillons à l'adresse suivante :

Institut National de la Recherche Agronomique
Centre de Recherches de Bordeaux
Laboratoire d'Analyses Végétales
La Grande Ferrade
33140 PONT DE LA MAYE

LES CARENCES MINÉRALES EN FRANCE CHEZ LES PLANTES A DESTINATION FOURRAGERE (DONT LE MAÏS)

S. TROCME

INRA

Station de Science du Sol
CNRA Route de St Cyr
78000 VERSAILLES

I INTRODUCTION

L'intérêt de l'étude des carences minérales en oligo-éléments chez les végétaux, dans le cadre d'un colloque consacré aux acquisitions récentes sur les carences en oligo-éléments chez les animaux, peut se concevoir de différents points de vue :

— Si l'on considère que les carences minérales chez les végétaux, aussi bien en oligo-éléments qu'en éléments majeurs, donnent lieu en général à des baisses de rendements, souvent accusées, il est certain que les producteurs de plantes fourragères doivent à ce titre se préoccuper de la connaissance des carences, de leurs conditions d'apparition, de leur prévention, de leur traitement. Cela concerne aussi les éléments indispensables aux végétaux sans l'être aux animaux, c'est-à-dire le bore et peut-être le molybdène (rappelons que les oligo-éléments indispensables aux végétaux sont le fer, le cuivre, le zinc, le manganèse, le bore, le molybdène et le chlore).

— Il y a lieu de se demander dans quelle mesure les carences ont une influence sur la composition des végétaux.

— Il faut rechercher si l'absence de symptômes de carence en oligo-éléments suffit pour considérer que l'on est à l'optimum de production.

Nous examinerons d'abord les deux derniers points.

II INFLUENCE D'UNE CARENCE SUR LA COMPOSITION MINÉRALE DES PLANTES.

On considère souvent qu'en général l'augmentation de l'alimentation en un élément donné va de pair avec une augmentation de la teneur de la matière sèche en cet élément. C'est le principe du diagnostic foliaire : si deux plantes ou deux lots de plantes, appartenant à la même espèce, à la même variété, placées dans des conditions d'environnement apparemment identiques, croissent avec une intensité différente, elles présentent des différences dans leur composition minérale, au moins pour certains organes. Comparée à une plante non carencée, une plante carencée est alors en général plus pauvre en l'élément déficient, mais plus riche en d'autres éléments dont l'absorption n'a pas diminué dans la même mesure que la croissance des plantes. Ainsi la guérison d'une carence chez une plante fourragère peut-elle modifier, non seulement la teneur des plantes en l'élément déficient, mais aussi en d'autres éléments qui peuvent alors se trouver à un taux moins élevé que lorsqu'il y a carence.

Cependant, cette règle a besoin d'être nuancée : une meilleure alimentation en un élément jusque là déficient peut provoquer à la fois une augmentation de la quantité absorbée et de la croissance. L'effet sur la teneur de la matière sèche en cet élément pourra être négatif, nul ou positif selon la valeur respective de l'augmentation de l'absorption et de la croissance. La partie gauche de la courbe schématisée présentée fig. 1 (d'après PREVOT et OLLAGNIER) correspond aux carences. La courbe de la fig. 2, obtenue expérimentalement par STEENBJERG, qui a fait les premières observations sur ce sujet, est présentée pour illustrer ces phénomènes et souligner les difficultés soulevées par l'interprétation ou la prévision de la composition minérale des végétaux.

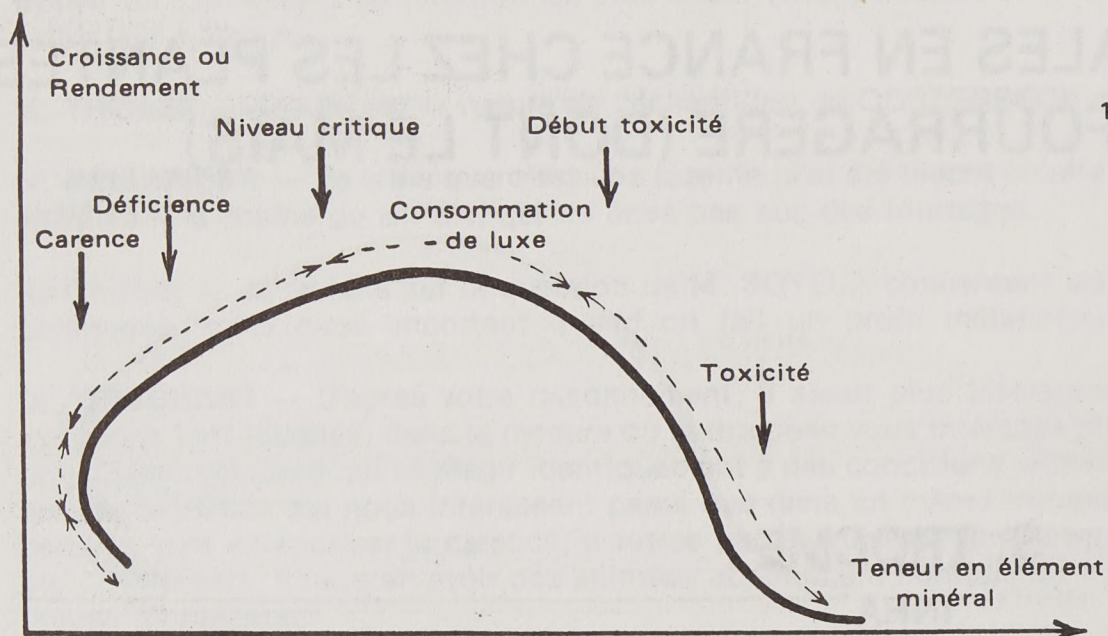


Figure 1. Relation entre composition minérale et rendement, (d'après Prévot et Ollagnier).

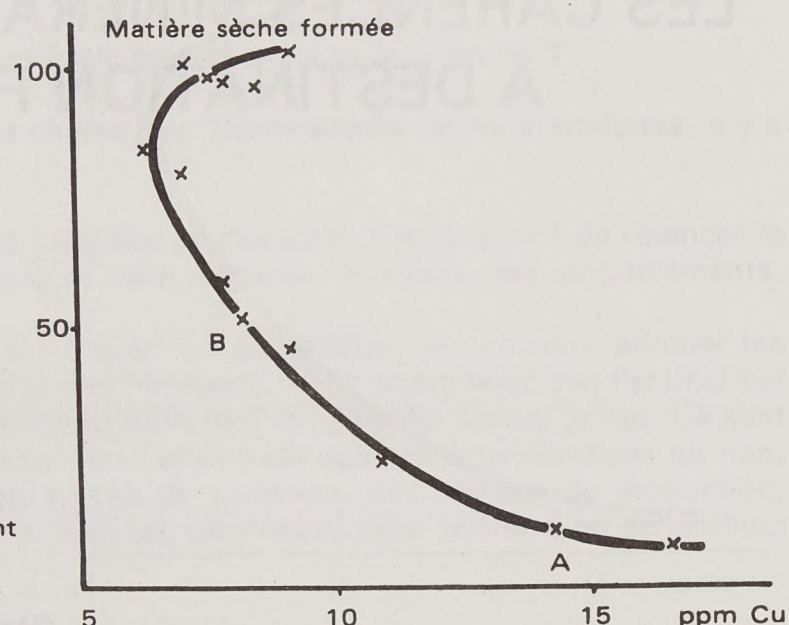


Figure 2. Relation entre composition minérale et rendement en g de matière sèche par pot, orge (d'après Steenbjerg)

A côté de ces indications d'ordre général, on peut faire des observations plus particulières.

En voici deux exemples :

a) les données bibliographiques montrent que parfois, chez des maïs fourrage, les teneurs en zinc de la matière sèche des plantes totales sont les mêmes chez des plantes carencées et chez des plantes saines plus développées dans des conditions de milieu apparemment semblables ; il arrive même que les plantes carencées soient plus riches. D'après l'auteur américain VIETS (1953), le zinc absorbé s'accumulerait alors surtout dans les nœuds de la tige, alors que les entre-nœuds renferment peu de cet élément. Une meilleure alimentation en zinc augmente la croissance des entre-nœuds, ce qui agit sur le poids de matière sèche, mais beaucoup moins sur la teneur en zinc de l'ensemble de la plante, qui peut alors rester à peu près constante ou même diminuer. De ces observations résultent aussi des conséquences sur le choix des organes à retenir pour le diagnostic de l'alimentation par analyses d'éléments minéraux.

b) déterminant à la récolte les teneurs en manganèse de pailles et de grains d'avoine, Y. COÏC et M. COPPENET (1958) constatent qu'elles peuvent être plus élevées chez des plantes carencées que chez des plantes saines (1), et donnent l'explication suivante : il existe une période critique allant jusqu'à l'épiaison pendant laquelle les plantes ont des besoins élevés en manganèse, auxquels les sols déficients ne peuvent subvenir. La croissance et le tallage des plantes carencées sont alors considérablement réduits et les plantes carencées sont pauvres en manganèse. Par la suite, l'alimentation en manganèse de ces plantes est suffisante, les plantes n'ayant que peu de tiges et de grains à nourrir, ce qui explique leur enrichissement relatif.

Il ne faut cependant pas exagérer l'importance d'observations de cette nature, la guérison des carences permettant le plus souvent d'améliorer la composition minérale des végétaux, en l'élément considéré.

Etant donné que même lorsque les plantes ont une croissance optimale leur teneur en oligo-éléments n'est pas toujours suffisante pour l'alimentation animale (le cas du cuivre est typique à cet égard) la reconnaissance de symptômes de carences chez les plantes peut conduire à supposer des teneurs insuffisantes pour les animaux, sans en faire une règle générale. Si l'observation des symptômes chez les plantes est utile, elle ne saurait suffire (notamment du fait qu'il y a plusieurs éléments indispensables aux animaux, comme le cobalt, l'iode, le sélénium, qui ne le sont pas pour les végétaux et pour lesquels il n'existe pas de symptômes de carence).

(1) D'une façon générale, les grains sont moins sujets à des variations de composition minérale que les autres organes de la plante.

III SUBCARENCES CHEZ LES VEGETAUX.

Un supplément d'alimentation en oligo-éléments est-il susceptible d'augmenter les rendements, alors même que les cultures ne présentent aucun symptôme visible de carence (subcarences) ? La réponse serait très affirmative s'il s'agissait d'éléments majeurs. Elle est moins évidente concernant les oligo-éléments. Cependant, il est certain que si les subcarences en oligo-éléments sont souvent difficiles à mettre en évidence à l'aide d'expériences culturales au champ, elles n'en existent pas moins et on pourrait en donner des exemples concernant chacun des oligo-éléments dans les conditions de la pratique. En voici un concernant le maïs-grain :

Dans une série d'expérimentations culturales de même type (Bassin Parisien), l'apport systématique de sulfate de zinc sur maïs ne présentant pas de symptôme de carence en sols non acides et bien pourvus ou riches en acide phosphorique, est resté le plus souvent sans action, mais a conduit parfois à des augmentations de rendements significatives, encore que peu accusées (3 - 4 %). Ces augmentations semblaient apparaître surtout lorsque les conditions de productivité étaient plus favorables, donc les besoins de culture plus élevés. Il n'est pas exclu en outre que le zinc dans les mêmes conditions ait hâté la maturité du grain.

Quoi qu'il en soit, si les subcarences existent, la difficulté actuelle est de préciser dans quelles conditions elles sont susceptibles de se manifester et de les prévoir éventuellement.

IV CONDITIONS DE NATURE A PROVOQUER DES CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS CHEZ LES PLANTES A DESTINATION FOURRAGERE.

1) Sols.

Ces conditions peuvent être en relation avec l'origine des sols, la nature des roches mères. Ces points ont été suffisamment développés dans d'autres communications pour qu'il soit inutile d'insister ici. Si la richesse des sols intervient à l'échelon local ou régional, on peut se demander cependant pourquoi la fertilisation systématique ne paraît pas s'imposer autant pour les oligo-éléments que pour les éléments majeurs. En fait, les sols sont en moyenne, relativement aux besoins des plantes, mieux pourvus en oligo-éléments qu'en éléments majeurs (ces indications restent très schématiques, puisqu'elles ne prennent pas en compte la disponibilité des éléments dans le sol). On conçoit cependant que l'augmentation des rendements, qui correspond à celle des prélèvements et des exportations d'oligo-éléments, rende plus probable l'apparition de carences dans la mesure où n'interviennent pas d'autres facteurs susceptibles de mieux satisfaire les besoins des cultures en oligo-éléments.

2) Influence de divers facteurs cultureux.

On retrouvera dans cette rubrique divers points envisagés dans d'autres communications :

a) Amendements calcaires.

Il est bien connu que l'assimilabilité des oligo-éléments varie avec le pH. En gros l'élévation du pH diminue l'assimilabilité des oligo-éléments sauf celle du molybdène. L'utilisation d'amendements calcaires est donc de nature à favoriser l'apparition de carences, d'autant plus que, s'il en résulte des élévations de rendements, les besoins en oligo-éléments se trouvent augmentés.

En sols calcaires ou légèrement calcaires, les insuffisances en oligo-éléments ne sont pas à exclure, mais les risques de carence paraissent plus probables à la suite de chaulages à doses élevées qu'en terres naturellement calcaires (ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas plus de risques en terres naturellement calcaires qu'en sols légèrement acides).

L'éventualité de carences ne doit pas faire condamner l'utilisation d'amendements calcaires, puisqu'il est en général possible de prévenir les carences susceptibles d'apparaître par des apports convenables d'oligo-éléments.

On fait parfois valoir, notamment avec certains types d'amendements, la présence sous forme d'impuretés d'oligo-éléments utiles. Cela est exact, mais il faut aussi tenir compte du fait que ces éléments peuvent se trouver sous forme peu assimilable et que leur apport ne compense peut-être pas l'action propre du chaulage sur l'assimilabilité des oligo-éléments. Les calcaires marins originaires des côtes de Bretagne, par exemple, sont très pauvres en cuivre (4 g par t), assez riches en manganèse (150 g par t), mais encore insuffisamment pour pallier l'action des chaulages sur l'assimilabilité de cet élément (DUVAL, 1966).

b) Matières organiques.

Quelle est l'influence de l'entretien ou de l'amélioration du bilan humique sur l'approvisionnement des cultures en oligo-éléments ? Bien entendu, les matières organiques utilisables en agriculture renferment toujours des oligo-éléments. Mais en grande culture - en culture de plantes à destination fourragère - il s'agit en général d'un recyclage d'éléments qui n'augmente pas les quantités globales à la disposition des cultures.

Les matières organiques ont aussi des actions indirectes, malaisées à caractériser, mais en général favorables, qu'il s'agisse de phénomènes de réduction (cas du fer ou du manganèse) ou de formation de complexes maintenant les

oligo-éléments relativement assimilables et mobiles dans le sol. Cela reste schématique ; la présence de matière organique n'est pas toujours favorable à l'assimilation d'oligo-éléments, surtout celle de vieille matière organique, de vieil humus (retournement de vieilles prairies, mise en valeur de tourbières), ou même parfois celle de matière organique fraîche en voie de décomposition (carences en zinc sur maïs observées parfois après enfouissement de verts de betteraves).

c) Engrais.

Certains engrais encore largement utilisés renferment divers oligo-éléments. C'est le cas des scories dont on sait notamment qu'elles sont riches en manganèse. Mais leur action alcalinisante contrebalance plus ou moins l'apport de cet élément, dont on a pu observer des carences même après application de scories. Les superphosphates contiennent du zinc en quantités non négligeables, présentant une certaine assimilabilité, mais souvent difficile à mettre en évidence en raison de l'antagonisme phosphore/zinc.

En fait, il n'y a pas lieu d'exagérer les avantages que présentait l'emploi d'engrais simples peu concentrés ; ceux-ci contenaient divers éléments accessoires (souvent inutiles), mais les taux et les formes des oligo-éléments rencontrés dépendaient des produits ayant servi à la fabrication des engrais et restaient sans rapport avec les besoins réels des cultures.

Les engrais ont par ailleurs des actions indirectes, **d'antagonisme** ou de **synergie**. L'antagonisme correspond à la diminution de l'absorption d'un élément quand le milieu s'enrichit en un autre élément.

L'antagonisme le plus classique, dans le cadre de cette communication, est sans doute l'antagonisme P/Zn, qui intervient certainement dans la culture du maïs, les carences en zinc se rencontrant fréquemment dans des terres recevant ou ayant reçu de fortes fumures, souvent même des fumures exagérées en acide phosphorique.

Les recherches sur cet antagonisme ont fait l'objet d'une littérature très abondante, à telle enseigne qu'un chercheur américain, VIETS, écrivait récemment (1972) dans la conclusion d'un ouvrage consacré aux oligo-éléments : "je crois qu'il y a eu beaucoup trop d'efforts de recherches et de trop nombreuses publications à propos des interactions P/Zn. Les recherches effectuées ajoutent peu de chose à notre compréhension de cet antagonisme, et en outre ce problème est assez insignifiant. Je ne connais pas d'exemple où une carence en zinc induite par le phosphore n'ait pas pu être corrigée de façon efficace et économique par une application de zinc au sol à la portée des racines. Il est difficile de comprendre pourquoi on a consacré tant d'efforts à l'étude de cette interaction si ce n'est parce qu'il est aisé de faire intervenir ces deux variables dans une expérimentation conventionnelle".

Cela dit, on peut rappeler que :

- d'une part certains auteurs se sont attachés à montrer que le phosphore pouvait diminuer l'assimilabilité du zinc du sol et que l'antagonisme apparaissait mieux dans des cultures sur sol que sur solution ;

- d'autre part divers travaux ont mis en évidence des phénomènes essentiellement physiologiques ; la localisation des engrais phosphatés dans le sol, qui devrait limiter l'immobilisation du zinc par le phosphore, conduirait au contraire à une utilisation minimale du zinc. On a aussi fait intervenir l'équilibre P/Zn dans la plante - ou l'équilibre P/Zn/Fe - etc... Une bonne alimentation potassique atténuerait l'effet d'antagonisme P/Zn. On a fait remarquer que les contradictions relevées entre diverses études pouvaient s'expliquer par le comportement différent des variétés : chez certaines, l'antagonisme serait caractérisé, chez d'autres on observerait des effets de synergie, alors que pour d'autres l'absorption du zinc serait sans relation avec l'alimentation phosphatée (HALIM et al., 1968).

L'antagonisme S/Mo est présenté ailleurs (JUSTE).

Comme actions synergiques, on peut rappeler celles des nitrates sur l'absorption du manganèse - sans doute par l'intermédiaire de phénomènes microbiens - ou celles des engrais ammoniacaux, en raison de leur effet acidifiant. Les engrais de type polyphosphates peuvent - tant qu'ils ne sont pas transformés en orthophosphates - favoriser l'absorption de certains oligo-éléments préexistant dans le sol (notamment du zinc, sans doute par formation de complexes qui le maintiennent sous forme soluble et assimilable et par un effet de solubilisation de matières organiques).

d) Irrigation.

Les eaux d'irrigation renferment des oligo-éléments en quantités variables selon leur origine ; les apports ainsi réalisés sont parfois relativement élevés en égard aux besoins des cultures. Les eaux ont également des actions indirectes d'entraînement et de lessivage, notamment sur le bore et le molybdène, et aussi sur l'assimilabilité (en intervenant sur les propriétés physiques des sols, l'aération, la vie microbienne, etc...). On sait notamment que l'irrigation, comme la pluie favorise la solubilisation des composés boratés.

e) Travail du sol.

En intervenant notamment sur l'aération ou le tassement, le travail du sol agit sur l'assimilabilité des oligo-éléments. Par exemple, en sols peu aérés, tassés par le passage d'instruments, on observe localement la disparition des carences en manganèse, favorisées par l'aération du sol (les formes oxydées du manganèse sont peu assimilables). C'est souvent le contraire pour le zinc : les parties d'un champ de maïs plus compactées peuvent n'être pas atteintes de carences en zinc (peut-être par suite d'un antagonisme fer/zinc). Pour des raisons du même ordre, un mauvais drainage favorise l'apparition de carences en zinc.

f) Espèces et variétés cultivées.

D'une façon générale, l'augmentation de rendements liée à l'emploi de variétés plus productives donne lieu à des prélèvements et des exportations d'oligo-éléments plus élevés et accroît ainsi la probabilité de manifestation de carences : la multiplication des carences en zinc sur maïs est en relation avec l'utilisation des nouvelles variétés à gros rendements. On sait également que la sensibilité à une carence peut être plus ou moins marquée selon les variétés parce que les besoins ou l'aptitude à s'alimenter dans le sol sont différents. Il n'est pas évident qu'il y aurait intérêt à sélectionner des maïs peu sensibles à la carence en zinc si par ailleurs leur teneur en cet élément était plus faible, ce qui interviendrait dans l'alimentation du bétail.

L'ensemble de ces observations souligne les difficultés que représenterait l'établissement à grande échelle de cartes des carences végétales, d'autant plus qu'il faut encore tenir compte de l'influence des conditions microclimatiques, qui peuvent elles-mêmes varier d'une année à l'autre : c'est ainsi que la luminosité peut accentuer les risques d'apparition de carences en zinc : par exemple, si une petite partie d'un champ de maïs carencé en zinc se trouve en lisière d'un bois, qui porte ombre à certaines heures de la journée, il arrive que cette zone ombragée soit indemne de carence (étant entendu que dans ces conditions d'autres facteurs peuvent intervenir). De même les basses températures favorisent les carences en zinc.

V PRINCIPALES CARENCES OBSERVEES ACTUELLEMENT EN FRANCE SUR DES PLANTES A DESTINATION FOURRAGERE - PREVENTION ET TRAITEMENT (1).

D'une façon générale, le traitement des carences consiste en l'apport de l'élément déficient soit au sol, soit aux parties aériennes des plantes. Mais on doit également envisager des mesures préventives en rapport avec les conditions d'apparition des carences discutées plus haut. Parfois les carences disparaissent d'elles mêmes (les racines parviennent à des couches profondes plus aptes à alimenter en certains éléments, ou bien les conditions climatologiques deviennent plus favorables, etc...).

1 - Carences en fer.

Sans pouvoir affirmer qu'il y ait en France des observations précises à ce sujet, on peut rappeler que le soja et le sorgho sont considérés comme relativement sensibles à la carence en fer (chlorose), avec des différences selon les variétés. Par ailleurs, on sait que le traitement de la chlorose par apports au sol de composés du fer est en général peu efficace, ou très onéreux. Si le problème se posait, et bien qu'on puisse envisager des pulvérisations sur le feuillage, il faudrait, soit éviter ces cultures dans des terrains prédisposés à la carence en fer (terrains calcaires ou à pH élevé), soit recourir à des variétés peu sensibles.

2 - Carences en bore.

Le bore n'intéresse pas la nutrition des animaux, mais des carences peuvent affecter le rendement et la composition des betteraves fourragères, des rutabagas, des navets (maladie de la pourriture du cœur, ou du cœur brun), des choux, des légumineuses, notamment la luzerne (jaune de la luzerne). Les betteraves fourragères et les rutabagas sont considérés comme plus sensibles que les betteraves sucrières. L'apparition de carences est souvent liée à l'utilisation d'amendements calcaires. On sait aussi que la sécheresse la favorise.

La prévention ou le traitement font appel à des applications de bore dans le sol (de l'ordre de 3 kg par ha sous forme de borates de soude), ou à des pulvérisations sur les parties aériennes (pentaborate de soude à 2 ou 2,5 ‰).

3 - Carences en manganèse.

Elles ont été observées surtout en Bretagne, en sols riches en vieille matière organique et à la suite d'apports d'amendements calcaires (1). On sait actuellement, à partir de l'analyse des sols, préciser les doses à utiliser dans cette région pour éviter les carences. Les céréales sont les plus sensibles (beaucoup plus que les graminées fourragères sur lesquelles l'influence des chaulages se manifeste surtout par une baisse de la teneur en manganèse).

L'application de sels ou d'oxydes de manganèse est inefficace, sinon à doses très élevées, le manganèse passant rapidement sous forme oxydée peu assimilable, par voie chimique et biologique. Le traitement consiste en pulvérisations de sulfate de manganèse (0,5 %) sur les parties aériennes.

4 - Carences en cuivre.

Elles ont également été fréquemment observées en Bretagne (2) en sols dérivés de granites, granulites ou grès quartzeux, sur céréales (les plus sensibles) et graminées fourragères (maladie des "pointes blanches", ou des "bouts blancs"), sur légumineuses fourragères (trèfle violet et luzerne plus sensibles que trèfle incarnat et trèfle blanc).

(1) Pour plus de détails, consulter :

M. COPPENET - *Les oligo-éléments*, BTI n° 231, 1968.

Numéro spécial des *Annales agronomiques consacré aux oligo-éléments*, 21, (5), 1970.

(2) cf. les diverses publications à ce sujet de M. COPPENET.

Les traitements consistent en pulvérisations d'oxychlorure de cuivre (1 ‰) ou en apports au sol de sulfate de cuivre, de l'ordre de 30 kg/ha, qui ont une arrière-action de plusieurs années.

Des carences en cuivre ont été observées aussi en sols acides, lessivés, appauvris en cuivre, par exemple sur maïs dans le Sud-Ouest.

La mise en valeur de terrains tourbeux pourrait donner lieu également à des manifestations de carence en cuivre.

5 - Carences en molybdène.

Voir la communication de C. JUSTE à ce sujet.

6 - Carences en zinc.

Il est bien connu que les carences en zinc sur maïs se sont multipliées ces dernières années dans toute la France. Le symptôme le plus caractéristique est celui des larges bandes blanches de part et d'autre de la nervure médiane. Le sorgho est également considéré comme sensible, en présentant des symptômes analogues.

Les conditions favorables à l'apparition des carences en zinc ont déjà été plus ou moins présentées plus haut :

- faible niveau des réserves du sol ;
- pH élevé, notamment à la suite de chaulages excessifs (dans le Sud-Ouest, les carences ne se manifestent que si ces deux conditions sont remplies, le pH à ne pas dépasser étant d'environ 6,4 (DARTIGUES, 1970)) ;
- richesse du sol en phosphore, à la suite notamment d'applications d'engrais phosphatés à doses excessives, qui pourrait limiter l'augmentation récente du prix des engrais ;
- travail du sol : sol trop tassé, mauvaise structure résultant du travail d'un sol trop humide ;
- conditions climatiques : froid, excès d'humidité (ce qui explique notamment que l'apparition de carences, ou leur évolution au cours de la croissance des plantes, varient selon les années) ;
- rotation maïs sur maïs, correspondant à la succession continue de cultures particulièrement exigeantes.

Les traitements consistent en apports de composés du zinc au sol ou aux plantes en végétation. Les doses appliquées au sol peuvent atteindre 50 à 75 kg/ha de sulfate de zinc (10 à 15 kg de zinc), parfois davantage (jusqu'à 150 kg), ce qui est hors de proportion avec les besoins des cultures, qui ne sont que de quelques centaines de grammes de zinc. Cependant, il n'est pas apparu que de telles applications répétées se soient montrées toxiques sinon en terres acides et pour d'autres plantes que le maïs (moutarde, pomme de terre), avec des doses de l'ordre de 200 kg/ha de sulfate de zinc.

. Ces points seront cependant à approfondir.

D'autres sels de zinc, comme les nitrates, sont aussi utilisables ; les produits chélatés, frittés, etc, sont parfois efficaces mais pas d'une façon générale, ce qui limite leur emploi à des conditions particulières de milieu.

Comme il n'est pas toujours facile de prévoir la quantité optimale de zinc à apporter au sol, les applications en végétation présentent certains avantages à cet égard, et éliminent les éventualités de toxicité à long terme. Mais elles risquent d'intervenir trop tard, si la carence est déjà accusée sur la jeune plante, ou de ne pouvoir être effectuées à temps si les conditions météorologiques sont défavorables. La forme sulfate (bouillie à 1,5 ou 2 % + la moitié de chaux) donnerait des résultats équivalents à la forme oxyde à 70 % de zinc (DUTHEN, 1973). Cette dernière présenterait l'avantage d'une plus grande facilité d'emploi.

En conclusion, il apparaît que si les carences en oligo-éléments observées chez les végétaux (étudiées systématiquement en France plusieurs années avant les carences chez les animaux) posent encore certains problèmes mal résolus, elles ont cependant reçu dans la plupart des cas des solutions somme toute satisfaisantes quant à leur prévention et leur traitement.

BIBLIOGRAPHIE

- COÏC Y., COPPENET M., 1958. Sur la carence en manganèse dans les sols humifères de Bretagne. Ann. Agron. Suppl. II., 111-138.
- DARTIGUES A., 1970. Exemples de problèmes régionaux (oligoéléments) : Le Sud-Ouest. Ann. Agron., 5, 609-615.
- DUTHEN G., 1973. Carence en zinc du maïs. Terre d'Oc, 55, 101-102.
- DUVAL L., 1966. Les amendements humiques et calcaires d'origine marine. Bull. Mayenne Sciences, 58-64.
- HALIM A., WASSOM C., ELLIS R. Jr., 1968. Zinc deficiency symptoms and zinc and phosphorus interactions in several strains of corn, Agron. J., 60, (3), 267-271.
- PREVOT P., OLLAGNIER M., 1955. Relations entre rendement, croissance et pourcentage des éléments minéraux dans les tissus végétaux. Bull. Soc. Fr. Physiol. Vég., 3, 47-52.
- STEENBJERG F., 1951. Yield curves and chemical plant analyses. Plant and Soil., 3, 97-109.
- VIETS F. G. Jr., BOAWN L., CRAWFORD C., NELSON C., 1953. Zinc deficiency in corn. Agron. J., 45, 559-565.
- VIETS F. G. Jr., 1972. A look ahead, in Micronutrients in agriculture, SSSA ed., P. 639.

DISCUSSION

M. BRICOUT — L'oxyde de manganèse à l'état réduit est-il assimilable par la plante ?

M. TROCME — L'oxyde de manganèse est utilisé en pulvérisation sur feuillage pour les arbres fruitiers. On a montré que cet oxyde de manganèse est assimilé et que cette pulvérisation sur une partie du feuillage donnait lieu à un enrichissement des autres parties de la plante. Les possibilités d'assimilation des oxydes de manganèse dans le sol varient en fonction de leurs formes. Les oxydes hydratés sont plus assimilables et plus facilement réductibles que les oxydes non hydratés. Il y a eu des travaux de faits, moi-même j'en ai poursuivis à Versailles, il y a une vingtaine d'années. Je n'avais pas considéré à l'époque que ce sujet valait la peine d'être poursuivi, étant donné les avantages que présentait par ailleurs l'alimentation directe des parties aériennes.

M. BRICOUT — Dans la littérature américaine, il est dit que MnO_2 n'est pas assimilable et Mn_2O_3 très assimilable.

M. TROCME — Mn_2O_3 est plus assimilable que MnO_2 . Cependant il faut distinguer entre MnO_2 et $MnO_2 \times H_2O$.

M. SAUVANT — Je voudrais vous poser une question au sujet de l'antagonisme phosphore-zinc dans les maïs. J'ai analysé le phosphore et le zinc dans 150 échantillons de maïs grain provenant des 40 principaux départements producteurs français, prélevés au niveau des organismes stockeurs ce qui m'a permis d'avoir un échantillon presque représentatif. On s'est aperçu qu'il y avait une corrélation de + 0,54, hautement significative, entre le zinc et le phosphore. Comment doit-on interpréter ce résultat ?

M. TROCME — On peut observer des phénomènes différents en ce qui concerne le grain et les autres parties de la plante, les organes végétatifs notamment. C'est le cas de l'antagonisme potassium-magnésium, très classique. On constate qu'avec une forte alimentation en potassium, les fruits et les graines peuvent être plus riches en potassium mais également plus riches en magnésium. Dans les autres organes, la forte alimentation en potassium a nettement diminué la teneur en magnésium. Donc on pourrait envisager de rechercher dans quelle mesure la corrélation phosphore-zinc existe aussi sur les autres organes que le grain, y compris les racines.

M. CHAUVET — Vous avez parlé des effets de synergie et des effets antagonistes du phosphore et du zinc. Connaissiez-vous d'autres interactions entre les oligoéléments et les macroéléments et entre les oligoéléments eux-mêmes ?

M. TROCME — Il y en a un grand nombre entre majeurs (K-Ca, Mg-Ca, etc...), entre majeurs et oligoéléments (S-Mo, P-Cu, P-Mn, Ca-B, etc...). L'interférence P-Mn est discutable. C'est quelquefois un antagonisme et quelquefois une synergie.

Pour les oligoéléments entre eux, il y a les antagonismes Fe-Mn, Fe-Cu, Cu-Zn, etc... Les synergies sont plus difficiles à expliquer. La synergie N-Mn est une synergie qui peut ne se manifester que dans certains milieux et avec certains engrais. Il peut s'agir d'une action acidifiante ou d'une action du nitrate sur la vie microbienne du sol.

M. JOURDAN — Pour la carence en cuivre, vous avez donné comme traitement une pulvérisation d'oxychlorure ou de sulfate de cuivre à raison de 30 kg/ha. Pouvez-vous nous donner des détails techniques sur la méthode en ce qui concerne les adjuvants, la grosseur moyenne des gouttes de la pulvérisation. Quel est le devenir du cuivre absorbé par la plante, notamment sa localisation dans les différentes parties de la plante ?

M. COPPENET — Pour guérir la carence en cuivre des sols du Massif Armoricain il faut enfouir 7 à 8 kg/ha de cuivre métal quel que soit le sel utilisé mais le sulfate est plus économique. Si l'on doit intervenir en pulvérisation foliaire, parce que la carence n'a été décelée qu'une fois la culture implantée, l'oxychlorure est indiqué car il ne provoque pas de brûlure (15 kg/ha de produit à 50 % de cuivre). Avec ce traitement on va guérir la culture qui est en place mais, de plus, les retombées vont guérir le sol pour de longues années. Avec le sulfate de cuivre on peut pulvériser des solutions à 1 p. 1 000 qui risquent déjà de brûler ou alors des solutions à 1 % neutralisées à la chaux.

En ce qui concerne la technique, le résultat d'une pulvérisation de sulfate de cuivre ou de sulfate de manganèse sur céréales en herbe est bon, même sans mouillant et avec des pulvérisateurs débitant 600 l./ha tels que ceux qui existent dans toutes les fermes.



OLIGO-ELEMENTS ET FERTILITE

M. BROCHART

INRA

Station de Physiopathologie de la Nutrition
CRZV Theix — 63110 BEAUMONT

I INTRODUCTION

L'attente du miracle thérapeutique, de la drogue ou de la piqure salvatrice est un comportement hérité du fond des âges et qui subsiste encore de nos jours. Il n'est donc pas étonnant que l'administration d'oligo-éléments puisse alimenter de temps à autre cette attente du miracle. Aussi il paraît nécessaire de donner aux oligo-éléments leur vraie place dans l'arsenal des moyens prophylactiques ou thérapeutiques de l'infécondité.

Rappelons qu'une fertilité normale dépend d'abord de nombreux facteurs non nutritionnels :

- a) activation de l'axe hypothalamo-hypophysaire par des stimuli lumineux ou olfactifs, accouplement ou insémination à la période optimale de l'œstrus, absence de stress perturbateur.
- b) Les infections génitales interfèrent évidemment avec une fertilité normale ; et il en est de même des maladies microbiennes ou parasitaires ayant une action générale sur le métabolisme et la nutrition.
- c) Parmi les facteurs nutritionnels, la première place paraît revenir actuellement, selon notre expérience, au niveau énergétique et azoté : les éléments minéraux majeurs, les oligo-éléments et les vitamines n'intervenant qu'en second lieu. On voit donc que toute polarisation sur le rôle des oligo-éléments dans l'infécondité des animaux domestiques serait une erreur.

La deuxième erreur serait de considérer que les oligo-éléments ont une action spécifique sur les diverses manifestations de la vie sexuelle : il n'y a pas d'oligo-élément de la fécondité, pas plus qu'il n'y a de vitamine anti-stérilité.

Les oligo-éléments ont des actions métaboliques générales : par exemple, ils activent la synthèse protéique ou le métabolisme de l'énergie ; c'est dans la mesure où un métabolisme est perturbé, et ceci sans qu'il y ait nécessairement atteinte visible de l'état général, que, chez le jeune en croissance, l'adulte, l'embryon ou le fœtus la fonction sexuelle sera perturbée secondairement : on observera soit un retard de la puberté, soit des troubles de la fonction spermatogénétique ou endocrine du testicule, soit des perturbations du cycle œstral, ou de l'ovulation, ou de la fertilisation, ou du développement embryonnaire. Dans la plupart des cas d'infécondité d'origine nutritionnelle, la perturbation constatée au niveau de telle ou telle phase de la fonction de reproduction est d'origine endocrinienne : l'activité de l'axe hypothalamo-hypophysaire est freinée ou bloquée. La preuve en est fournie par le fait qu'en utilisant, dans les conditions expérimentales, des stimuli appropriés tels qu'un éclairage prolongé ou la présence constante d'un mâle ou l'injection d'hormone hypophysaire ou de stéroïdes sexuels, on peut rétablir la fertilité sans modifier les apports alimentaires. Cependant, dans le cas de carence importante et prolongée, se superpose à l'influence de la carence sur l'activité endocrinienne, une action directe sur des organes sexuels et surtout l'embryon, dont les tissus ont un métabolisme actif nécessitant plus d'oligo-éléments que les tissus à activité métabolique plus lente.

Nous retiendrons donc deux faits essentiels :

- 1) Les carences en oligo-éléments ne sont qu'un des multiples facteurs agissant sur la fertilité, et certainement pas les plus fréquents.
- 2) L'influence de ces carences est secondaire à des perturbations générales, endocriniennes et métaboliques.

Nous allons maintenant envisager brièvement pour chaque oligo-élément, les faits bien établis, dans des conditions expérimentales rigoureuses, sur animaux de laboratoire, avec des régimes synthétiques contrôlés, permettant des carences spécifiques en un seul oligo-élément ; dans de telles conditions on peut analyser l'action d'une carence donnée sur les différentes composantes de la fertilité chez le mâle et la femelle. Nous envisagerons aussi les données obtenues chez les animaux domestiques, le plus souvent sur le terrain, dans des conditions moins rigoureuses que sur les animaux de laboratoire. Pour ne pas alourdir inutilement cet exposé, nous ne citerons aucune référence d'auteurs parmi les quelques 150 publications des dix dernières années qui ont fait l'objet d'une analyse bibliographique publiée en 1971 dans les Annales de la Nutrition et de l'Alimentation (1).

(1) BROCHART M. Oligo-éléments et fertilité. *Ann. Nutr. Alim.* 1971. 25. B493-520.

II LE COBALT

Peu d'expériences récentes ont été réalisées sur cet oligo-élément chez les animaux de laboratoire. Une amélioration importante de la fertilité a été obtenue chez des vaches qui ne présentaient cependant aucun symptôme de carence en vitamine B₁₂ ; l'action bénéfique du cobalt n'a été rendue possible que par une administration simultanée de cuivre. Chez des brebis ne présentant également aucun symptôme de carence en vitamine B₁₂, la croissance des agneaux issus de mères supplémentées avec du cobalt a été supérieure à celle des témoins. Nous pouvons constater d'ores et déjà deux faits importants que nous retrouverons par la suite :

- 1) les carences en oligo-éléments sont rarement pures chez les animaux domestiques,
- 2) l'état général des mères peut ne pas être apparemment affecté lors de carence, mais la fertilité des femelles et surtout la viabilité des jeunes peuvent être réduites.

III LE CUIVRE

De nombreuses études ont été réalisées sur le cuivre. Chez les animaux de laboratoire, une carence très sévère et durable est nécessaire pour obtenir une perturbation des cycles œstraux ; en revanche, la mortalité embryonnaire ou la mortinatalité est obtenue assez facilement ; si les jeunes naissent vivants, ils présentent rapidement des troubles centraux dus à des lésions dégénératives du cerveau, par défaut de myélinisation. Chez les bovins, il semble que la spermatogénèse puisse être altérée par la carence en cuivre. Chez la vache, le rôle du cuivre sur la fertilité est très controversé ; la carence en cuivre est rarement pure, ce qui complique l'interprétation des données obtenues sur le terrain. Nous avons eu la chance, en collaboration avec BELLANGER, LAMAND et Mme PERIGAUD, de mettre en évidence une influence nette de la carence en cuivre sur le taux de conception dans une région voisine de Clermont-Ferrand, la Combraille.

TAB. I Infécondité par carence en cuivre des vaches de Combrailles (Puy-de-Dôme)

	<u>Vaches témoins</u>	<u>Vaches supplémentées</u> 0,24 g SO ₄ Cu/j x 150 j après vêlage
Nombre de vaches	50	46
Fécondées en 1 ^{re} I.A.	13	26
	26 %	56,5 %
	p < 0,05	

Chez les ovins l'ataxie enzootique des agneaux est la seule manifestation spécifique d'une carence en cuivre que la brebis n'extériorise pas.

Chez la truie il faut une carence prolongée et sévère pour que les porcelets présentent de l'anémie.

Chez la poule, la carence en cuivre entraîne une mortalité embryonnaire élevée et donc une baisse importante du taux d'éclosion.

Nous retiendrons de cet ensemble de données la grande sensibilité de l'embryon ou du jeune à la carence en cuivre maternelle, et sauf cas particuliers, la faible sensibilité de la femelle à cette même carence. Cette apparente contradiction est peut-être due à l'insuffisance des mécanismes de transfert placentaire du cuivre, de la mère carencée au fœtus, pendant la gestation. Un même phénomène semble exister chez les ruminants pour d'autres oligo-éléments, comme le manganèse, le sélénium, et pour certaines vitamines.

IV L'IODE

D'assez nombreuses observations ont confirmé l'influence négative de la carence en iode sur la fertilité des ruminants : les chaleurs diminuent d'intensité, le taux de conception est abaissé, les avortements non infectieux et les rétentions placentaires sont plus fréquents. Lors d'alimentation à base d'ensilage de maïs on a observé l'association fréquente de rétentions placentaires et du goître des veaux nouveau-nés. Les choux goîtrigènes sont responsables chez les brebis d'une

réduction de la durée de l'œstrus, d'une augmentation du nombre de saillies par conception, et d'une résorption embryonnaire élevée. La viabilité des agneaux est réduite et le goître est observé.

V LE MANGANESE

Une carence durable en manganèse chez la ratte n'entraîne pas de perturbation de la fertilité, mais les jeunes présentent des troubles locomoteurs importants dus à un défaut d'ossification du squelette et de l'oreille interne ; la carence n'exerce son action sur le développement fœtal que pendant une période très brève de l'organogénèse, puisqu'il suffit d'administrer du manganèse uniquement pendant 24 h., le 14^e jour de gestation pour supprimer tous les effets de la carence. Chez la vache la carence en manganèse paraît diminuer le taux de conception ; les veaux issus de mères carencées présentent des déformations squelettiques. Les besoins de la vache gestante en manganèse varient notablement selon les auteurs, de 16 à 80 ppm. Les différences entre auteurs sont sans doute dues pour une large part aux variations de digestibilité du manganèse selon les différentes rations de base. Cette considération peut probablement être étendue à tous les oligo-éléments.

De jeunes chèvres recevant 6 ppm de manganèse ont une croissance normale, mais la puberté est retardée, et les chaleurs sont peu marquées ; cependant le taux de conception n'est pas modifié, mais en revanche, les avortements sont plus nombreux, le poids de naissance des chevreaux et leur viabilité post-natale sont abaissés, en raison de troubles squelettiques et locomoteurs.

Chez la truie profondément carencée, à 0,5 ppm, il faut attendre la deuxième génération pour constater une réduction du développement squelettique, de l'obésité, des cycles œstraux irréguliers, du subœstrus ou de l'anœstrus, des résorptions fœtales et une faible viabilité de la descendance.

VI LE SELENIUM

Chez le rat il faut une carence prolongée en sélénium jusqu'à la deuxième génération pour constater un ralentissement de la croissance et de la stérilité ; selon les auteurs, un supplément de 0,01 à 0,1 ppm de sélénium rétablit une fertilité normale.

Chez la vache, l'association sélénium-vitamine E a permis de réduire la fréquence des rétentions placentaires mieux qu'avec le seul sélénium. On ne saurait toutefois en conclure à partir de ce cas qu'il faut toujours associer sans discernement des vitamines aux oligo-éléments : c'est ainsi qu'une dose préventive de cuivre vis-à-vis de l'ataxie enzootique des agneaux se révèle mortelle si on lui associe une injection de vitamine A.

Chez les ovins, l'association de la myopathie des agneaux et de l'infécondité des brebis disparaît après supplémentation en sélénium. L'association du cuivre s'est révélée bénéfique dans de tels cas, alors que le cuivre seul n'avait pas d'effet.

Cet effet de complémentarité de deux ou plusieurs oligo-éléments est assez général. La supplémentation en sélénium paraît annuler les effets négatifs sur la fertilité dus à la consommation d'herbe riche en œstrogènes. La nature de cet effet est inconnue.

Chez la truie, on a constaté une amélioration de la survie post-natale du porcelet après supplémentation en sélénium.

VII LE ZINC

C'est à propos de cet oligoélément que les progrès les plus importants ont été réalisés au cours des dernières années.

Chez le rat en croissance, la carence en zinc à 1 ppm à partir du sevrage provoque une baisse d'appétit, un arrêt de la croissance, de l'alopecie, de la parakératose de l'œsophage, chez le mâle l'arrêt de la spermatogénèse, et chez la femelle l'irrégularité puis l'arrêt des cycles ; à 60 ppm la croissance est normale et la parakératose disparaît, mais il y a toujours des altérations de la fonction sexuelle qui ne disparaissent qu'à 100 ppm. On retrouve ici la notion de seuil différentiel énoncée précédemment, à savoir que les troubles de la fonction sexuelle peuvent exister en dépit d'un état général apparemment normal.

Chez la ratte gestante, la carence induite en début de gestation provoque une forte résorption embryonnaire, 100 % d'anomalies chez les nouveau-nés et un poids de naissance de 50 % de la normale. Le zinc des réserves maternelles n'est pas mobilisé au cours de la gestation. On constate que l'élévation du taux protéique de la ration limite les effets de la carence en zinc. Ceci n'est pas étonnant dans la mesure où on a démontré que la carence en zinc a pour effet primaire l'arrêt de la synthèse du DNA. La carence en zinc a également un effet sur le comportement sexuel de la ratte adulte : on observe un refus de la saillie.

Chez les jeunes ruminants mâles la carence en zinc provoque comme chez le rat, des perturbations voire l'arrêt de la spermatogénèse. Le taux de conception des vaches a pu être amélioré par une supplémentation en zinc de l'ordre de 30 ppm. Les veaux issus de mères carencées sont très fragiles, présentent des troubles cutanés, un retard à la cicatrisation des plaies.

On sait que les porcs sont très sensibles à la carence en zinc conditionnée par un excès de calcium ; il faut toutefois atteindre un taux de calcium assez élevé pour obtenir un effet sur le nombre de porcelets par portée.

Chez la poule, la carence en zinc entraîne des malformations embryonnaires ou une forte mortalité.

VIII CONCLUSION

Nous en avons terminé avec cette approche analytique du problème, approche sans doute un peu ingrate, mais qui était un préalable nécessaire à la recherche de conclusions pratiques globales :

1) On doit distinguer deux cas nettement différents, celui des monogastriques, porcs et volailles, en élevage industrialisé, et celui des ruminants. Les monogastriques sont relativement à l'abri des fluctuations régionales ou annuelles des teneurs des éléments constitutifs de la ration en oligo-éléments ; par ailleurs la digestibilité des constituants des rations des porcs et volailles est relativement homogène ; pour toutes ces raisons, il est plus facile de normaliser les teneurs en oligo-éléments par une supplémentation adéquate.

En revanche la variabilité qualitative et quantitative de la ration de base des ruminants est considérable : elle tient à la variété des constituants, aux variations régionales, saisonnières et annuelles des sols ou des climats. Il faut donc s'assurer contre les risques maxima, ce qui entraîne nécessairement une supplémentation qu'on peut qualifier de luxe ; le coût n'est pas cependant excessif si on élimine les marges bénéficiaires également de luxe qui ont trop longtemps sévi. Une telle politique de supplémentation de luxe ne protégera pas nécessairement contre les cas limites.

2) Hormis ces cas limites, où il y a une pathologie spécifique, affectant surtout les jeunes, et permettant un diagnostic clinique, les subcarences entraînent des manifestations non spécifiques, souvent discrètes sur le plan de l'état général, et ne se traduisant sur le plan de la fertilité que par des difficultés de fécondation. Il est alors nécessaire de recourir à des analyses chimiques soit de fourrages, soit de plasma, soit éventuellement de poils, ce qui ne fournira que des éléments de suspicion. Le diagnostic thérapeutique doit être utilisé mais il n'a de signification que si l'on utilise un lot témoin avec placebo, et un lot supplémenté ; cette précaution est malheureusement négligée le plus souvent, et les conclusions qu'on peut tirer de ces essais n'ont qu'une valeur très relative. La prophylaxie à base d'injection retard d'oligo-éléments rendra beaucoup plus aisée la mise en place de ces essais de diagnostic thérapeutique.

3) Chez les ruminants, tributaires, on l'a dit, de variations annuelles de la qualité des fourrages, on ne doit pas s'attendre à une constance de l'influence des carences en oligo-éléments. Il y aura des années sans et des années avec carences.

4) L'évolution actuelle de l'alimentation à base d'ensilage de maïs devrait généraliser, sauf supplémentation adéquate, les carences en macro et oligo-éléments, le maïs étant pauvre en tout, l'énergie exceptée. Sur le plan minéral, la correction systématique n'a porté jusqu'à présent que sur le phosphore et le calcium. Il serait temps de porter notre attention à tous les autres minéraux majeurs et mineurs.

En conclusion, l'influence des oligo-éléments sur la fertilité ne peut être mise en évidence que par une approche globale, nécessitant l'intervention d'équipes multidisciplinaires, opérant selon un protocole d'investigation rigoureux.



DISCUSSION

Dr. SOIROT — La pratique courante de la clinique rurale permettrait pourtant une étude scientifique simple de ces causes et de leur manifestation à l'échelle individuelle ou d'un troupeau.

Dr. BROCHART — Il y a là un excès d'optimisme, c'est horriblement complexe. La clinique peut bien sûr apporter des éléments d'information mais ces éléments sont souvent non spécifiques, ils ne fournissent pas une étiologie. La perturbation d'activité hypothalamo-hypophysaire peut provenir de causes multiples et avoir les mêmes effets. Un corps jaune permanent, un kyste, c'est un symptôme, ce n'est pas une maladie, il faut en trouver l'étiologie. Aussi nécessaire que soit la clinique, il faut objectiver les symptômes, savoir si les cycles sont normaux ou allongés, ce qui peut éventuellement, dans le cas d'allongement des cycles, suggérer une résorption embryonnaire précoce. Nous avons intérêt à savoir si les chaleurs sont brèves ou anormalement allongées. Tout ceci doit être enregistré, noté, objectivé, mais ensuite il faut trouver la cause et, alors, les complexités sont considérables. Il faut analyser la conduite de la reproduction, savoir si l'éleveur fait la première insémination dans les 15 jours qui suivent le vélage ou s'il attend les 45 jours nécessaires pour avoir un taux de conception normal, comment l'éleveur observe les chaleurs, avec quelles fréquences etc... C'est une étude globale qui porte sur les aspects zootechniques, agronomiques et vétérinaires de la conduite de l'exploitation. Si bien que, pour juger de l'influence éventuelle dans telle ou telle exploitation du rôle des oligo-éléments, il faut mettre en œuvre ces moyens et, si l'on est arrivé à suspecter une carence en oligo-éléments, il faut mettre en œuvre le diagnostic thérapeutique avec la rigueur que je souhaite. On cite une multitude de réussites thérapeutiques spectaculaires que ce soit par les hormones, les oligo-éléments, les minéraux majeurs. On oublie qu'il y a pu avoir guérison spontanée, parce que, entre temps, la durée du jour, la température ont été modifiées, ou il y a eu mise à l'herbe, on est passé d'une alimentation de pénurie sur un pâturage d'Octobre ou Novembre à une alimentation hivernale sur un bon foin et des concentrés. Tous ces succès thérapeutiques sont peut-être des réalités ou le fait du hasard tant que l'on n'aura pas un lot témoin.

M. CAZES DE MONDENARD — Lors de l'enquête effectuée en Bretagne sur trois années, quelles précautions a-t-on prises pour s'assurer que l'approvisionnement des animaux en macro-éléments, phosphore, calcium, magnésium n'a pas varié entre les deux périodes précédant et suivant la distribution d'un composé minéral enrichi en oligo-éléments ?

Dr. BROCHART — Il y avait du magnésium. Quelle évolution a-t-il pu y avoir au niveau du phosphore et du calcium voire des autres éléments ? **M. KEROUANTON** va répondre.

M. KEROUANTON — En fait, on peut considérer que les vaches non complémentées et celles supplémentées se trouvaient dans les mêmes troupeaux mais à des périodes différentes. D'une façon générale, je ne pense pas qu'il y ait eu des variations importantes dans les apports d'énergie ou les apports de phosphore et calcium. Les déficits de phosphore étaient rares, on avait plutôt des excès, les apports de calcium étaient satisfaisants. L'étude de la liaison fertilité et phosphore-calcium n'a donné aucune corrélation alors que la liaison fertilité et oligo-éléments se dégage nettement. On a noté un effet défavorable des apports insuffisants d'énergie, ces apports insuffisants pouvant exister aussi bien chez les animaux traités que non traités. On a refait le point ultérieurement avec des vaches nourries à l'ensilage de maïs, sur des troupeaux généralement bien complémentés en énergie, matières azotées, phosphore, calcium, magnésium, sodium et en oligo-éléments : les taux de fertilité étaient plutôt meilleurs qu'à l'époque où les rations comportaient peu de maïs.

Dr. COMMERGNAT — Vous nous avez dit avoir observé une forte mortalité embryonnaire chez le rat carencé en cuivre. Que pensez-vous de l'action du cuivre au niveau de la mortalité embryonnaire chez le porc ? Il semble que certains auteurs Yougoslaves aient pu démontrer l'effet de la carence en cuivre dans ce domaine. D'autre part, pour le sélénium, j'ai noté, dans une partie très limitée géographiquement de ma clientèle, une forte corrélation entre, d'une part la grande fréquence et la grande gravité de la myopathie sur les jeunes veaux, et, d'autre part la nymphomanie chez les vaches des mêmes exploitations. Outre l'action protectrice du sélénium vis à vis des plantes à action œstrogène ne pensez-vous pas que la carence en sélénium puisse, elle-même, être la cause favorisante de l'apparition de nymphomanie chez les vaches, d'autant plus que ces cas de nymphomanie sont, en général, dans ces exploitations beaucoup plus résistants à la thérapeutique hormonale utilisée habituellement et les résultats sont moins bons ?

Dr. BROCHART — L'effet du cuivre sur le développement embryonnaire est très général, on l'a observé dans de nombreuses espèces. Il est très vraisemblable que le porcelet est affecté au même titre que les jeunes des autres espèces. En ce qui concerne la corrélation myopathie des veaux - nymphomanie des vaches, on trouve de la nymphomanie un peu partout et il faut être prudent quant à la réalité de cette association. Mais ce qui est possible, c'est qu'en général la myopathie est plus fréquente dans les exploitations où les veaux ont une croissance intense. Mon opinion personnelle est que la nymphomanie est plus fréquente sur des vaches en très bon état d'entretien. Je voudrais vous proposer une hypothèse. Cette association apparente est le fait d'une intensification de l'alimentation tant de la mère que du veau, plutôt que d'une influence du sélénium sur la nymphomanie. Ces kystes ovariens se produisent dans toutes les régions de France y compris dans celles où il n'y a pas de carence en sélénium.

Dr. COMMERGNAT — Il s'agit d'exploitations produisant du veau de lait, nourri à l'étable avec le lait de la mère. Les veaux sont effectivement suralimentés : ils têtent le lait de la mère en totalité et, en complément, ils sont alimentés avec des laits en poudre. Par contre les mères ne subissent aucune suralimentation et elles seraient même carencées en divers éléments, même en éléments majeurs.

Dr. BROCHART — Du point de vue état d'embonpoint comment sont ces mères ?

Dr. COMMERGNAT — Elles sont dans un état d'embonpoint assez médiocre. Elles ne consomment pas davantage de plantes à action œstrogène que les vaches des exploitations voisines.

Dr. BROCHART — Je profite de la présence de nombreux praticiens pour faire un sondage. La nymphomanie est-elle plus fréquente chez les vaches en très bon état que sur les vaches maigres ? ...
Je vois que les avis contraires sont majoritaires à plus de 90 %, pour toutes races.

Dr. REDLICH — Je signale qu'en Hollande la nymphomanie se présente généralement dans des exploitations où le sol est mal assaini et où nous avons très souvent un excès de manganèse dans les fourrages. Malheureusement je n'ai pas de données scientifiques de base. Il serait intéressant de vérifier si la nymphomanie ne se manifeste pas spécialement dans les régions ou dans les exploitations où il y a un mauvais assainissement du sol.

Dr. COMMERGNAT — Les sols incriminés dans mon exemple sont présumés, d'après les travaux de Mme PERIGAUD, contenir une teneur excessive en manganèse.

Dr. BROCHART — Il faut faire une enquête nationale dans des régions bien pourvues en manganèse et d'autres carencées, et voir si la fréquence pathologique est significativement différente. C'est une hypothèse de travail à retenir.

Mme PERIGAUD — Je voudrais apporter une précision concernant le manganèse dans les sols et les fourrages. Dans le Centre, il n'y a pas à tenir compte, pour les raisons que j'ai précisées précédemment, du manganèse dans le sol. Le manganèse des fourrages, dans la Creuse, est compris entre 100 et 250-300 ppm. Je ne pense pas que ce soit excessif.

Dr. BROCHART — En ce qui concerne l'influence d'un excès de manganèse sur la fertilité, les bases sont assez fragiles. Les Américains ont trouvé des taux élevés de manganèse dans les ovaires de vaches à kyste. Ceci à mon avis ne prouve rien. Ce n'est peut-être qu'une conséquence métabolique secondaire de la nymphomanie et il serait assez naïf de déduire d'une élévation d'un oligo-élément dans le tissu ovarien que c'est cette élévation qui est responsable de l'anomalie.

M. GASCOIN — Vous avez dit que chez le porc, on avait retrouvé les effets du manganèse en deuxième génération. C'est inquiétant. Le problème peut-il se poser pour d'autres espèces que le porc et pour d'autres éléments ?

Dr. BROCHART — Certainement. Je n'ai cité que l'action cumulative des carences mais on peut craindre aussi le même effet pour les excès.

M. GASCOIN — Vous avez dit, en réponse au Dr. SOIROT, que pour résoudre les problèmes de fertilité il fallait noter le maximum d'observations. Ne pourrait-on pas associer à chaque symptôme une liste des paramètres à rechercher ?

Dr. BROCHART — Je pense qu'il faut normaliser l'enquête sur le terrain, et recueillir le maximum de données. Mais ceci ne vous donnera jamais un diagnostic car ces troubles ne sont pas spécifiques.

M. DE LOISY — N'y a-t-il pas là aussi une influence due aux apports actuels d'importantes quantités de lisier ou de purin sur les prairies ?

Dr. BROCHART — Vous évoquez le rôle du lisier dans quel cas ?

M. DE LOISY — Pour les déséquilibres œstrogènes. Cela a été signalé par d'autres auteurs.

Dr. GANSEL — Combien de temps faut-il attendre après administration d'oligo-éléments, pour noter une amélioration de la fertilité ?

Dr. BROCHART — Je ne peux pas vous donner exactement la cinétique de l'amélioration du taux de fertilité. Elle serait difficile à établir vu le faible nombre d'animaux en expérience. La totalité de l'expérience a duré 6 mois, la supplémentation a été instaurée après le vêlage. L'effet a été obtenu globalement au bout de 6 mois de supplémentation. Je pense que, dans les subcarences relatives, l'effet thérapeutique doit être plus rapide.

Dr. GANSEL — C'est important pour les agriculteurs parce que notre attention est attirée depuis une période relativement récente sur les incidences pathologiques des carences en oligo-éléments et plus particulièrement en matière de stérilité. Nous aurons prochainement à intervenir, de plus en plus souvent, pour des stérilités d'étable, et, si l'on choisit la voie de la thérapeutique, il faudrait savoir si l'on doit attendre six mois ou un an ou si au bout de quinze jours ou trois semaines on peut espérer que les troubles de la fertilité rentrent dans l'ordre.

Dr. BROCHART — Il n'y a pas de réponse uniforme. Tout dépend de l'épuisement des réserves hépatiques en cuivre et de la thérapeutique instituée. M. LAMAND vous donnera des informations sur la remontée du cuivre plasmatique après une injection retard d'oligo-éléments. Il y a une récupération rapide dans le cas de carence d'origine relativement récente et une récupération probablement assez longue dans le cas d'une carence plus ancienne.

Dr. GANSEL — Parce que pratiquement cela se passe ainsi : on est appelé dans des étables où il y a deux ou trois vaches qui font des retours en chaleur avec des cycles à peu près réguliers. Elles ne retiennent pas. On intervient et les éleveurs vont ensuite les faire inséminer, une fois, deux fois, et, si au bout de trois inséminations elles ne sont pas pleines, le propriétaire considérera qu'il y a eu échec du traitement.

Dr. BROCHART — Le problème que vous posez est gravissime. Il faut en fait choisir entre deux politiques. La première attitude est celle de la thérapeutique instituée sur le terrain mais le client attend le succès rapide et il est prêt à désavouer son vétérinaire si dans les cinq semaines ou les deux mois qui suivent l'intervention, celle-ci n'a pas été efficace. L'autre attitude est celle de la prophylaxie de ces affections et consiste à instituer une politique de supplémentation à moyen terme ou long terme mais qui suppose évidemment de la part de l'éleveur ou de l'agriculteur une mutation dans sa conception des choses. Selon les personnes, l'une ou l'autre des politiques est plus ou moins facile à mettre en place. L'attente du miracle thérapeutique que j'ai évoqué en début de mon exposé, hélas, existe toujours. Il faut faire évoluer les gens de façon à ce qu'on passe de cette stratégie du miracle thérapeutique à la stratégie prophylactique à long terme. Je conçois que ce soit, au niveau du terrain, d'une grande complexité.

Dr. GANSEL — Je suis tout à fait d'accord mais on ne pourra abandonner la thérapeutique que lorsque l'on fera une prophylaxie systématique des carences. Il ne faut pas se faire d'illusions on en est loin, et, pendant très longtemps encore, on fera malheureusement plus de thérapeutique que de prophylaxie.

M. ROCHET — Lorsque vous parlez de choux, s'agit-il de variétés particulières ? Quel niveau de consommation recommandez-vous pour le chou ?

Dr. BROCHART — Je ne me hasarderai pas à vous donner des niveaux parce qu'il y a des variations importantes selon les variétés. C'est l'observation clinique, notamment la recherche systématique du goître, voire l'iode hormonal sanguin qui doivent nous guider. Je crois qu'il serait très imprudent de se fier à des normes compte tenu des variations dans le caractère goïtrigène des différentes variétés de choux.

M. PINOT — Pour avoir l'aide de l'éleveur dans l'élimination des problèmes de fécondité, je pense qu'il faut sensibiliser l'éleveur lui-même. Le moyen le plus courant utilisé est de lui dresser un bilan de son exploitation. Est-il souhaitable et réalisable de calculer un critère, synthétique et annuel, du niveau de fécondité obtenu dans un troupeau ?

Dr. BROCHART — C'est souhaitable si ce critère est simple, mais le problème est plus compliqué que cela. Qu'est-ce qu'une bonne fécondité ? Vous avez des exploitants qui se contentent d'un écart intervêlage de 15 mois, d'autres qui crient au scandale quand l'écart dépasse 11 mois et demi et plus de 1,2 inséminations par naissance. Définir un critère synthétique abstrait ne me paraît pas la solution idéale. Vous êtes obligés de vous ajuster au niveau des exigences économiques de la région et de l'exploitant. Ce critère doit être immédiatement perceptible à l'éleveur. M. KEROUANTON, votre IGF est-il passé dans les mœurs dans le Finistère ?

M. KEROUANTON — En fait, nous n'avons pas vulgarisé notre terme IGF auprès des éleveurs. C'est une méthode que nous utilisons chaque fois que nous voulons mesurer la fécondité. Par contre, au niveau de la vulgarisation, le relevé des écarts entre vêlages et par classe, nous permet de déceler s'il y a des problèmes. Alors, nous pouvons utiliser des critères plus sophistiqués.

Dr. BROCHART — Entièrement d'accord, je pense que le meilleur critère c'est l'écart intervêlage moyen de l'exploitation.

M. LIENARD — Il n'y a pas de bon critère général synthétique de la fertilité d'un troupeau. La valeur de l'intervêlage n'est pas un critère synthétique parce qu'il ne prend pas en considération les génisses et qu'il élimine les vaches réformées pour cause de stérilité. Pour les troupeaux de vaches allaitantes, nous avons mis au point une méthode d'analyse de la productivité en veaux des troupeaux qui est très globale et nous utilisons un indicateur de la fertilité, "le taux de gestation" qui a certainement sa valeur. Malheureusement, cette méthode d'analyse, bien adaptée au troupeau de vaches allaitantes, ne convient pas aux troupeaux laitiers ou de veaux de boucherie car le vêlage est étalé sur l'année. Je crois que, pour l'instant, il faut combiner plusieurs critères dont l'intervêlage et peut-être le nombre d'inséminations par vache. De plus, il faut remarquer que l'intervêlage est délicat d'emploi, il dépend de la date de vêlage. On s'aperçoit que les vaches vêlant en Octobre auront un intervalle de vêlage plus long que celles qui vèleront au printemps.

M. COUDURIER — Vous avez signalé qu'on avait assez fréquemment des goîtres en même temps que des rétentions placentaires lors de carences en iode que l'on rencontre en particulier avec les régimes à base d'ensilage de maïs non complémentés. M. LAMAND nous a donné son tableau avec les symptômes de carence, les rétentions placentaires n'y figurent pas. Est-ce dû au fait qu'il y a tellement de causes qui peuvent les provoquer que cela ne doit pas être considéré comme symptôme et que vous ne l'avez pas retenu ?

Dr. LAMAND — C'est vraiment trop peu spécifique pour qu'on le considère comme symptôme de carence en oligo-éléments. Les liaisons qu'on commence progressivement à soupçonner sont assez vagues et lâches. Il faut en savoir plus pour conclure.

Dr. SOYEUX — Je voudrais faire quelques remarques sur le problème du lot témoin. Cette pratique qui est très souhaitable sur le plan rigueur expérimentale pose des problèmes pratiques souvent insurmontables. Le premier consiste souvent en l'absence des méthodes d'enregistrement au niveau de l'élevage. On ne peut mettre en place ce type de comparaison que si on a un moyen de comparer les résultats définitifs à une situation préalable. Le deuxième problème concerne en fait l'expérimentateur vis à vis de l'éleveur selon qu'il intervient au titre d'agent commercial, technique ou de conseil. Il n'est pas toujours facile de convaincre l'éleveur de la nécessité de ce lot témoin.

En effet, lorsque vous mettez en place deux lots, si vous obtenez une amélioration sur le lot expérimental, l'éleveur a toujours la sensation d'être brimé au niveau de son lot témoin.

Dr. BROCHART — Je suis parfaitement conscient de ces difficultés mais on ne pourra pas avancer sur un certain nombre de problèmes si on ne trouve pas ces conditions. Pour faire accepter le lot témoin, il faudrait trouver un traitement qui ne modifie en rien le fait qu'il est témoin.

M. FRANÇOIS — On connaît chez l'homme un symptôme spécifique de la carence en zinc, c'est l'agustie (trouble du sens du goût). Pour les animaux ce critère semble peu exploitable. Néanmoins pourrait-on expliquer ainsi les pertes d'appétit ?

Dr. LAMAND — Cela n'a jamais été mis en évidence chez l'animal. Il semble que le comportement des animaux évolue fort peu en fonction des différents produits qu'on leur propose. Les animaux semblent avoir relativement peu de goût au sens humain du terme.

M. FRANÇOIS — Je voudrais faire une remarque à propos de l'influence des carences au cours de l'organogénèse et la spécificité ou la chronologie de ces carences. M. BROCHART a parlé du manganèse mais il y a d'autres exemples qui portent sur des vitamines et d'autres nutriments. Au cours de l'organogénèse il y a des stades privilégiés où la carence peut provoquer des accidents sérieux.



NOTIONS DE DIGESTIBILITE ET TENEURS RECOMMANDEES DANS LA RATION : PROPHYLAXIE ET TRAITEMENT

M. LAMAND

INRA

Station de Physiopathologie de la Nutrition
Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires
Theix - 63110 BEAUMONT

I INTRODUCTION

Le métabolisme des éléments minéraux aboutit, grâce à des mécanismes de régulation, à la réalisation d'un équilibre entre l'absorption des minéraux ingérés, l'excrétion fécale ou urinaire et l'élimination par les productions. Le bilan de cet équilibre doit être nul : l'animal sain, hormis des réserves physiologiques normales, ne peut accumuler les minéraux sans danger.

L'absorption intestinale s'effectue avec un certain rendement : la digestibilité, qui se définit par l'expression :

$$\text{Digestibilité apparente (\%)} = \frac{\text{Quantité ingérée} - \text{quantité excrétée}}{\text{Quantité ingérée}} \times 100$$

Dans la quantité excrétée deux paramètres peuvent être inclus : l'excrétion fécale et l'excrétion urinaire. Cette dernière excrétion, pour les oligoéléments est négligeable, on n'en tient donc habituellement pas compte. L'excrétion fécale, en revanche, est la plus importante : elle représente, à elle seule, le mécanisme majeur de la régulation du métabolisme des oligoéléments. Elle est la résultante de deux phénomènes connexes : l'absorption intestinale vraie et l'excrétion d'origine endogène. La digestibilité d'un élément peut être améliorée soit par une absorption intestinale accrue, soit par une diminution de l'excrétion endogène. A la limite, si les apports sont insuffisants ou peu assimilables, la digestibilité et la rétention peuvent être négatives.

Les digestibilités des oligoéléments sont souvent comprises entre 0 et 10 % chez les adultes et entre 10 et 50 % chez les jeunes en croissance. (LAMAND, 1974 c).

La rétention est définie par la différence entre la quantité ingérée et la quantité excrétée. On l'exprime souvent en mg/jour et par 100 kg de poids vif.

En règle générale le métabolisme minéral est régulé de telle sorte que, à mesure que la teneur minérale de la ration s'élève, la digestibilité (%) de l'élément considéré diminue et la rétention tend à augmenter. Le phénomène est inverse si la teneur de la ration diminue. Parallèlement si les besoins de production (croissance, lait, reproduction...) s'élèvent, la digestibilité et la rétention s'élèvent conjointement.

Si l'apport minéral est excessif, les réserves parviennent à leur maximum, les mécanismes d'excrétion sont surchargés et l'intoxication apparaît.

II NOTIONS DE DIGESTIBILITE DES OLIGOELEMENTS

Les renseignements bibliographiques sur la digestibilité des oligoéléments chez les ruminants recevant une ration non synthétique sont rares.

Un travail actuellement en cours, chez des moutons, porte sur l'étude de la digestibilité des oligoéléments de 18 luzernes, 17 graminées d'origines et de modes de conservation différents.

Les digestibilités et les rétentions ont été obtenues par la méthode des bilans chez des moutons ayant presque atteint la taille de l'adulte. Cette méthode consiste à enregistrer les quantités ingérées de tel ou tel élément, à mesurer les quantités excrétées et à calculer par différence la proportion d'élément retenue (digestibilité) et la quantité retenue (rétention). Les premiers résultats obtenus sont indiqués dans le tableau I.

TAB. I Résultats de bilans d'oligoéléments obtenus chez des moutons

	Légumineuse (1)			Graminée (2)		
	Teneur mg / kg / MS	Digestibilité %	Rétention mg / 100 kg / jour	Teneur mg / kg / MS	Digestibilité %	Rétention mg / 100 kg / jour
Cu	9,3 **	8,6 **	1,80 **	5,9	— 4,0	— 0,3
Zn	24,2 **	— 1,5	— 0,07	27,4	0,7	0,7
Mn	29,8 **	0,9	1,70	64,5	1,2	2,3
Se	0,21 **	20,7	0,14 **	0,04	19,7	0,03
Ca	13270			4360		

(1) 18 expériences comportant en moyenne 6 animaux soit 105 observations.

(2) 17 expériences comportant en moyenne 6 animaux soit 97 observations.

** Différence entre légumineuse et graminée hautement significative.

On peut noter que la teneur en cuivre des luzernes a été assez bonne ainsi que la digestibilité et la rétention de cet élément. La teneur moyenne en calcium était de 13,3 g/kg : le calcium de la luzerne ne semble donc pas interférer avec l'absorption du cuivre contrairement à ce qui a été montré avec des excès de calcium dans d'autres types de régimes.

La digestibilité et la rétention du cuivre des graminées ont été mauvaises.

La digestibilité et la rétention du zinc ont été voisines de zéro pour les deux espèces végétales. Les digestibilités du manganèse et du sélénium ont été du même ordre de grandeur pour les luzernes et les graminées.

Comme l'indiquent également d'autres résultats en cours d'exploitation, la rétention de ces deux éléments est proportionnelle à la teneur. Ils montrent aussi que la qualité de la ration influe plus que la teneur sur la digestibilité et la rétention du cuivre et du zinc. En particulier, la digestibilité et la rétention du zinc sont assez étroitement liées à la digestibilité de la ration.

On sait, par ailleurs, par des travaux hollandais, que le cuivre de l'herbe jeune est relativement peu digestible.

Il en est de même pour les ensilages vis à vis des foin correspondants.

III TENEURS RECOMMANDEES

Elles sont en général déduites des seuils de carence qu'on peut définir comme suit : teneur limite de la ration pour laquelle le nombre des accidents pathologiques tend vers zéro. Les limites de carence, variables d'un auteur à l'autre, intègrent donc la notion d'apport et de digestibilité de l'élément considéré, à l'exclusion des interférences classiques.

Les **recommandations** reprennent les limites de carences en ajoutant une certaine marge de sécurité (tableau II).

Les observations des différents auteurs ont permis d'aboutir à des valeurs adoptées en général dans les conditions de la pratique.

Les besoins en oligoéléments évoluent relativement peu avec les productions à l'exception de l'iode. Un apport de 0,2 mg d'iode/kg MS suffit pour des animaux en croissance alors qu'il est nécessaire de fournir 0,8 mg d'iode/kg MS ingérée à des vaches à haute productivité. Les rations riches en crucifères (colza, choux...) contiennent des substances goîtrigènes qui augmentent notablement les besoins en iode : il convient alors d'ajouter 1 mg d'iode/kg MS aux recommandations précédentes. Il faut en effet souligner l'importance de différentes **interférences** susceptibles de modifier les besoins.

Le molybdène forme avec le cuivre un complexe insoluble qui rend ce dernier élément inutilisable par les cellules. Au-delà de 3 mg/kg MS, le molybdène augmente les besoins en cuivre. En revanche, lorsqu'il y a très peu de molybdène (Mo < 0,1 mg/kg MS) la toxicité du cuivre est aggravée pour les ovins. Elle peut commencer à apparaître entre 15 et 20 mg Cu/kg MS.

Un excès de phosphore et de calcium peut aggraver une subcarence en cuivre, en zinc et en manganèse. Il arrive, par suite d'une erreur de diagnostic, que la surcharge en calcium d'une ration pauvre en manganèse accentue les troubles osseux.

TAB. II - Seuils de besoins et toxicité des oligoéléments (mg/kg M.S.)

Elément	Limites de carence	BESOINS		TOXICITE
		Foin	Maïs + Soufre	
Cu	7	10	14	OV. 15 BOV. 100
Co	0,07	0,1	0,1	100
I	0,15	0,2 0,8	0,2 0,8	8
Mn	45	50	120	1000
Zn	45	50	75	500
Se	0,1	0,1	0,1	0,5
Mo				3

L'ensilage de maïs doit être enrichi en azote. Il est donc souvent complémenté avec de l'urée et du soufre, ce qui permet la synthèse d'acides aminés et d'acides aminés soufrés par la flore du rumen.

Or, le soufre diminue la digestibilité ou la rétention du zinc, du manganèse et parfois du cuivre. Une faible qualité énergétique de l'ensilage aggrave l'interférence du soufre (LAMAND, 1974a).

Il est donc préférable de ne pas enrichir les rations au-delà d'un certain optimum qui se situe vers 2 g de soufre/kg MS. En cas d'utilisation du soufre, il est indispensable d'augmenter les apports pour compenser la diminution de la digestibilité et de la rétention du cuivre, du zinc et du manganèse (tableau II et LAMAND, 1974b).

La **toxicité** des oligoéléments est relativement faible à l'exception du cuivre pour les ovins et du sélénium.

L'intoxication due au cuivre provoque chez les ovins un ictère hémolytique d'évolution rapide et mortelle. Les muqueuses et les tissus deviennent jaunes ; la jaunisse s'accompagne de l'émission d'urine brun foncé caractérisant une hémolyse intense.

Le sélénium est un toxique grave à la dose de 5 mg/kg MS. Cependant, il peut, à une dose nettement plus faible, avoir des conséquences mal connues chez l'homme. Il serait, par exemple, susceptible de favoriser les caries dentaires chez les enfants. A titre de prudence et pour la protection des consommateurs, la législation française interdit de dépasser la teneur de 0,5 mg/kg MS d'aliment. Cette norme est sans doute sévère mais souhaitable.

IV PROPHYLAXIE DES CARENCES

Elle doit être systématique pour tous les ruminants. Les aliments concentrés sont en général complémentés par le fabricant. Il est donc nécessaire d'ajuster les apports en oligoéléments pour la ration de base (foins, ensilages, racines...). La complémentation peut être faite en même temps que l'apport des éléments majeurs. Elle doit être assurée toute l'année, y compris à l'herbage ou en période de tarissement pour les vaches laitières.

Une éventuelle subcarence chez les mères gestantes diminuerait la vitalité des jeunes à la naissance.

Le tableau III est un exemple de calcul qui utilise les apports fréquemment rencontrés dans les foins de prairie naturelle première coupe. Le déficit journalier à couvrir a été calculé pour une vache laitière ingérant 12 kg MS/jour. Les oligoéléments peuvent être apportés par un complément minéral distribué à l'auge. Il est facile dans ce cas de contrôler les quantités d'oligoéléments ingérées.

Lorsque les animaux sont élevés en lots, ou au pâturage, la distribution des oligoéléments en même temps que l'aliment devient nécessaire.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées. Leur choix est fonction des possibilités matérielles de l'exploitation.

TAB. III Prophylaxie

Element	Teneur moyenne (1) mg/kg MS	Besoins mg/kg MS	Déficit journalier à couvrir (2)
Cu	5	10	60 mg
Co	< 0,1	0,1	1,2 mg
I	0,1 - 0,2	0,2 - 0,8 (3)	7,2 mg
Mn	20 (4)	50	360 mg
Zn	25	50	300 mg
Se	0,05	0,1	0,6 mg (5)

(1) Teneurs les plus fréquemment rencontrées dans les foin de prairie naturelle première coupe.

(2) Déficit à couvrir pour la ration de base, les concentrés ont souvent des teneurs suffisantes. Le calcul est fait pour une vache laitière ingérant **12 kg de matière sèche par jour**.

(3) Besoins de 0,2 mg/kg M.S. pour un bovin faiblement productif et 0,8 mg/kg M.S. pour une laitière à haute productivité.

(4) Teneur fréquente pour les légumineuses. De même pour les foin de prairie permanente sur sol calcaire.

(5) On peut aussi prévoir des formes injectables : 3 mg/veau, une fois vers 15 jours, et 0,6 mg/agneau une fois vers 15 jours. Rémanence 2 mois et demi environ.

L'enrichissement des fourrages sur pied est une solution intéressante puisqu'elle permet de rectifier la composition de l'alimentation pour tous les animaux. L'apport au sol ou en pulvérisation foliaire sera développé dans les exposés suivants.

L'utilisation des pierres à lécher peut être intéressante dans la mesure où la composition de la pierre adaptée à la consommation journalière, permet bien de couvrir les besoins. Un contrôle limité dans le temps permet de vérifier la consommation des blocs à lécher.

Le tableau IV constitue un exemple de calcul d'un complément minéral distribué à la dose de 100 g/jour. Tous les sels peuvent être utilisés.

TAB. IV Exemple de calcul d'un complément minéral distribué à des bovins à raison de 100 g/jour

Element	Déficit journalier à couvrir	Forme de sel	Proportion d'élément dans le sel	Facteur de multiplication	Quantité Journalière de sel à apporter dans 100 g C.M.	Composition du condiment minéral
Cu	60 mg	SO ₄ Cu, 5H ₂ O	1/4	4	240 mg	2,4 g/kg
Co	1,2 mg	SO ₄ Co, 7H ₂ O	1/5	5	6 mg	60 mg/kg
I	7,2 mg	Ca (IO ₃) ₂	2/3	3/2	10 mg	100 mg/kg
Mn	360 mg	SO ₄ Mn, H ₂ O	1/3	3	1 g	10 g/kg
Zn	300 mg	SO ₄ Zn, 7H ₂ O	1/4	4	1,2 g	12 g/kg
Se	0,6 mg	Se O ₃ Na ₂	1/2	2	1,2 mg	12 mg/kg

Mélanges rappelés à titre d'exemple :

- Phosphate bicalcique	40 %	60 %	50 %
- Chlorure de sodium	35 %	35 %	45 %
- Carbonate de calcium	20 %	—	—
- Sulfate de magnésium	5 %	5 %	5 %

Il importe de tenir compte de l'hydratation du sel choisi. L'iodate de calcium a l'avantage d'être nettement plus stable que les iodures qui peuvent se composer et disparaître du mélange par volatilisation. Le sélénite de sodium est réputé plus assimilable que le sélénate.

Pour les cations, certains oxydes sont peu assimilables. Il faut noter cependant l'exception de l'oxyde de zinc (ZnO) et du protoxyde de manganèse (MnO) qui sont tous deux bien assimilés par les animaux ainsi probablement que l'oxyde cuivrique (CuO).

V TRAITEMENT

1 - Par la bouche : il ne pose pas de problème particulier hormis son coût élevé en main d'œuvre et le risque éventuel de fausse déglutition quand on entonne les animaux.

Les doses habituellement utilisées sont de 4 g de sulfate de cuivre, de zinc ou de manganèse par jour et par bovin adulte. On peut utiliser 1/10 de cette dose pour les ovins. Le traitement doit durer une dizaine de jours. Il importe de prévoir une prophylaxie des carences peu après la fin du traitement sinon les rechutes seront relativement rapides.

Les comprimés d'oxyde de cobalt sont utilisés comme traitement ou comme prophylaxie. Ils persistent environ 6 mois dans le rumen, à moins d'un rejet accidentel qui peut survenir dans moins de 20% des cas. La libération lente de l'oxyde de cobalt permet de suppléer aux besoins de la flore pour la synthèse de vitamine B₁₂.

2 - Par injection : Si on se reporte au déficit fréquemment rencontré chez une vache (tableau III) et si l'on admet une digestibilité voisine de 10% pour les différents éléments, on obtient un ordre de grandeur des doses d'éléments injectables nécessaires. Dans cet exemple et pour un bovin adulte, l'injection doit fournir par jour environ 6 mg de cuivre, 30 mg de zinc ou 36 mg de manganèse.

Nous avons récemment mis au point et breveté des formes retard d'oligoéléments injectables par voie intramusculaire profonde. La durée d'efficacité se révèle être de l'ordre de 2 mois - 2 mois et demi. Ces formes injectables devraient être commercialisées relativement prochainement.

Il existe par ailleurs des formes injectables de sélénium associées à la vitamine E qui donnent habituellement d'excellents résultats tant pour le traitement que pour la prophylaxie. La dose à employer est de 3 mg de sélénium/veau, ou de 0,6 mg de sélénium/agneau.

Il faut souligner enfin qu'il est inutile d'injecter le cobalt puisque ce métal doit être métabolisé par la flore du rumen pour la synthèse de vitamine B₁₂. On peut en revanche injecter la vitamine elle-même.

VI CONCLUSION

Des différents exposés qui ont précédé, il ressort qu'il est nécessaire de généraliser la prophylaxie des carences en oligoéléments. La qualité minérale des fourrages est variable quant à la teneur ; la digestibilité des oligoéléments est relativement liée à la digestibilité de ces fourrages.

Il importe de ne pas introduire dans les rations un déséquilibre entre les éléments minéraux : l'excès de l'un perturbe le métabolisme des autres. Chaque élément doit faire partie de la ration à la dose nécessaire mais aucune surcharge n'est bénéfique.

Les recommandations proposées pour la nutrition minérale en éléments majeurs ou en oligoéléments, tiennent compte d'un équilibre entre les éléments et perturber cet équilibre présente le danger de déclencher des carences secondaires difficiles à maîtriser.

Enfin, un excès en tel ou tel élément ne fera que surcharger inutilement des mécanismes d'excrétion déjà fortement sollicités dans les conditions d'élevage intensif.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LAMAND M., 1971. Causes, conséquences biochimiques, pathologiques et prophylaxie des carences en oligoéléments chez les ruminants. Extrait du Bull. Soc. Scient. Hyg. Alim. de l'Assoc. Franç. Techn. Alim. et Assoc. Franç. Zootech., **50**, (2), 155-172.

LAMAND M., 1974 a. Etiopathogénie des carences en oligoéléments dans les ensilages de maïs enrichis en urée et en soufre. Ann. Rech. Vet., **5**, (3), 281-289.

LAMAND M., 1974 b. Facteurs interférant avec la digestibilité des oligoéléments dans les ensilages de maïs. Bull. C.R.Z.V., n°18, 21-25.

LAMAND M., 1974 c. Risques de carences en oligoéléments chez les jeunes ruminants recevant un aliment d'allaitement. Bull. C.R.Z.V., n°16, 21-25.

DISCUSSION

Dr. NGUYEN — Vous nous avez donné des taux de digestibilité des oligoéléments chez des animaux sains. La digestibilité des oligoéléments est-elle différente avec des animaux carencés ?

Dr. LAMAND — Effectivement, en cas de carence la digestibilité tend à augmenter. Ceci a été démontré pour le zinc ; l'absorption croît et l'excrétion endogène diminue. Il y a une adaptation à l'état de carence qui tend à améliorer le rendement. L'animal réagit de la manière suivante, progressivement il adapte son métabolisme minéral à cet état de carence mais si cet état est trop grave les régulations sont insuffisantes et la carence apparaît.

M. JOUSSELIN — Avez-vous des références sur l'influence du parasitisme gastro-intestinal sur la digestibilité des oligoéléments ? Avez-vous tenté des essais d'infestations expérimentales dans des digestibilités que vous auriez faites vous-mêmes ? Il est connu en cas de carence que le parasitisme augmente. Le parasitisme en est-il la cause ou la conséquence ?

Dr. LAMAND — Je n'ai aucune expérience. Ceci est un problème qui devrait être étudié.

M. MANDRON — Il semble que l'on s'oriente vers une supplémentation en oligoéléments continue par l'intermédiaire des condiments minéraux. Il existe aussi sur le marché une forme d'apport intermittent qui est le condiment de cure. Ces cures sont recommandées avant certaines périodes critiques de la vie de l'animal. Qu'en pensez-vous ?

Dr. LAMAND — Je crois qu'il importe d'assurer en tout temps une prophylaxie des carences tant en éléments majeurs qu'en oligoéléments, mais il ne faut pas donner d'à-coups. Il faut choisir une méthode de prophylaxie, vérifier qu'elle est bonne et qu'elle apporte bien les quantités nécessaires. Mais il n'y a réellement aucun intérêt à multiplier les formes d'apport ni à dépasser les quantités recommandées. Cela se rencontre de plus en plus souvent et l'on risque des ennuis sérieux. Plusieurs fois nous avons été alertés pour des mortalités anormales où un excès d'oligoélément était impliqué. Ceci ne veut pas dire qu'on doive abandonner la complémentation. J'ai lu avec intérêt deux enquêtes, faites par des Etablissements Départementaux de l'Elevage, sur la composition des compléments minéraux proposés aux éleveurs. Dans l'enquête de l'Orne, 70 % des compléments sont nettement insuffisants en oligoéléments. Il faut s'en tenir à un juste milieu.

Dr. NGUYEN — Vous n'avez pas totalement répondu à ma question. Connaissez-vous les taux de digestibilité des différents oligoéléments avec des animaux carencés ? Quel est le métabolisme endogène des différents oligoéléments ? Y a-t-il un stockage du sélénium et dans quel tissu ?

Dr. LAMAND — Je n'ai pas de chiffres. Je vous ai parlé des travaux de MILLER aux Etats-Unis. Il a étudié la carence en zinc à l'aide d'éléments marqués, injectés par voie intraveineuse. La radioactivité des fèces est moindre chez les animaux carencés que chez les témoins. Il a obtenu des données qualitatives entre carencés et témoins mais pas de chiffres quant à la digestibilité. Toutes ces expérimentations sont faites avec des animaux dans des conditions physiologiques particulières et avec des rations de types semi-synthétiques. Ce ne sont pas d'authentiques ruminants mangeant les rations classiques que l'on trouve dans les campagnes.

Il y a des stockages pour le cuivre, la vitamine B12, l'iode. Pour le manganèse il existe des réserves sans doute puisqu'expérimentalement il faut sept à huit mois avant d'obtenir une carence. Pour le zinc il n'y a pas de stockage, l'animal vit au jour le jour. Le sélénium se stocke dans le foie.

M. KEROUANTON — On peut situer les besoins en cuivre de 10 à 14 ppm selon les rations. Jusqu'à combien peut-on aller sans inconvénient majeur ?

Dr. LAMAND — Il ne faut pas dépasser 20 ppm pour le cuivre, 30 ppm est une aberration. Les Russes ont montré pour le cobalt qu'un optimum existait. On a des chutes de croissance au-delà de 1 ppm. 0,5 ppm est à considérer comme un maximum.

Pour l'iode ce n'est pas net. Les auteurs donnent 8 ppm comme seuil de toxicité. Il est préférable de ne pas dépasser 3 à 4 ppm.

Quant au manganèse, certains fourrages renferment jusqu'à 500 ppm, mais on n'est pas sûr qu'une notable surcharge en manganèse soit sans inconvénient. Cependant les auteurs n'ont pas réussi à trouver un seuil de toxicité. A 1 000 ppm on a une inappétence et une chute de croissance. Je crois que 300 à 400 ppm ne devrait pas être dépassé. Pour le zinc, le seuil de toxicité est à 500 ppm, mais il est sans intérêt de dépasser 100 à 150 ppm. Quant au sélénium, le terme de 0,5 ppm est impératif, c'est la législation française qui l'oblige. Pour le molybdène on est tributaire du fourrage, si les teneurs augmentent il faut augmenter parallèlement le cuivre. Par exemple, si on a 7 ppm de molybdène il faudra remonter les besoins de 10 ppm à 15-20 ppm en cuivre.

M. DUBOIS — Que se passe-t-il au niveau des fourrages déshydratés ? Vous nous avez donné comme quantité de sélénium à apporter à titre préventif pour les agneaux 0,6 mg/10 kg de poids vif. Dans des essais que nous avons entrepris dans l'Aube après en avoir discuté avec vous, nous avons remarqué qu'en apportant seulement cette dose à 15 jours, la myopathie pouvait apparaître entre 2 mois et demi et 3 mois. A titre curatif on s'est aperçu que pour obtenir un résultat maximum, pour avoir une guérison sur l'ensemble des animaux, il fallait largement dépasser cette dose-là et la répéter pendant 2 ou 3 jours successifs.

Dr. LAMAND — Je suis tout à fait d'accord avec le traitement, il faut le répéter plusieurs jours, il se peut que 0,6 mg/agneau soit insuffisant dans la mesure où les fourrages sont particulièrement pauvres où ces animaux se carencent très vite. Il faut rester expérimental en la matière.

On soupçonne une interférence avec les fourrages déshydratés, en effet le fuel libérerait du soufre et auquel cas ces aliments seraient à considérer comme supplémentés en soufre.

Dr. SIMOULIN — Y a-t-il un apport de zinc par l'eau contenue dans les récipients galvanisés ou l'eau d'écoulement des gouttières ? Existe-t-il pour les injections d'oligoéléments une contre-indication d'abattage pour la consommation humaine ?

Dr. LAMAND — Les apports par l'eau de boisson sont faibles et négligeables.

Il est déconseillé d'abattre les animaux juste après l'injection. Le produit diffuse doucement dans le muscle. Il donne vers le dixième jour une inflammation qui est, pour le cuivre et le zinc, voisine du poing. J'ai fait des abattages à 10 jours, 20 jours et 30 jours. A 10 jours, on épluche 1,5 kg de viande, à 20 jours, on épluche 1 kg et à 30 jours on n'a plus qu'un œuf de poule. Ensuite cela disparaît quasi complètement. Il reste un petit point de fibrose. Quant au consommateur, le cuivre et le zinc ne sont pas très toxiques. De plus étant injectés sous forme insoluble, ils n'imprègnent pas la viande hormis le point de fibrose.

M. FRANÇOIS — Le problème du cadmium inquiète beaucoup les nutritionnistes. Le cadmium est un contaminant assez large. Il existe dans les sels de zinc à titre de contaminant "obligatoire", même dans les sels de zinc de haute pureté utilisés au laboratoire. Chez l'animal connaît-on des accidents de toxicité par le cadmium, et l'administration de zinc ne pose-t-elle pas de problèmes à cet égard ?

Dr. LAMAND — Le cadmium est interférant, Par exemple -comme le cuivre- il interfère avec le zinc au niveau du site de pénétration intestinale. Ces trois éléments utilisent le même transporteur. Nous ne le dosons pas et nous n'avons pas d'autres renseignements.

M. KEROUANTON — Nous avons observé une aggravation des problèmes des éleveurs avec l'apport important des fumures azotées. Or, on tend de plus en plus à exploiter l'herbe jeune à trois ou quatre semaines avec des fumures azotées atteignant 50-60 unités/exploitation. Cela donne des herbes avec 18-20 jusqu'à 25 % de matières azotées. Dans ces conditions, quels pourraient être les besoins en cuivre pour les animaux au pâturage ?

Dr. LAMAND — Les teneurs des herbes jeunes sont comprises entre 7 et 9 ppm, il faudrait dépasser 10 ppm (de 10 à 15). On n'a pas décidé de la teneur souhaitable car si les travaux hollandais ont montré que la digestibilité diminuait, ils n'ont pas dit de combien.

M. DE RIBOU — Vous avez dit que chez la vache l'ovaire était l'organe le plus riche en manganèse. Ne serait-ce pas là le lieu de stockage ?

Dr. LAMAND — Absolument pas. L'ovaire est le tissu le plus riche en manganèse mais cela ne représente qu'une faible quantité.

M. DE RIBOU — Il a été signalé que la teneur en manganèse des ovaires diminue dans les cas de brucellose et d'avortement. Qu'en pensez-vous ?

Dr. BROCHART — Le manganèse de l'ovaire varie de 4 à 8 ppm, on trouve plus de manganèse dans les ovaires des vaches à kyste. Cela n'a aucune signification. On ne sait pas si c'est la cause ou l'effet.

M. ROCHET — Il existe sur le marché un ensemble de boules, renfermant chacune un oligoélément. Il est dit que les animaux peuvent s'autorégler en fonction de leurs besoins. Peut-on avoir des précisions ?

Dr. LAMAND — Ce type de prophylaxie est basé sur une hypothèse qui est la suivante : les animaux vont choisir la pierre renfermant tel ou tel élément selon leurs besoins. Ceci est faux, deux observations le prouvent.

— J'ai eu l'occasion de comparer les consommations de pierres à lécher chez des vaches recevant ou non une complémentation minérale comportant 32 g. de chlorure de sodium/jour/vache. Les vaches recevant du sel dans leur complément ingéraient 20 g/jour. La différence qui existe dans les deux lots n'est pas très importante si on la compare à la variabilité des ingestions de pierre rencontrée dans un troupeau.

— Sur un domaine de l'I.N.R.A., on a utilisé ce genre de prophylaxie et le directeur du domaine s'est aperçu que les animaux se précipitaient sur les pierres à cuivre. Nous avons vu après le dosage de la ration (pierre exclue) que ces animaux couvraient, avec 20 ppm, largement leurs besoins. Néanmoins, les animaux se ruaient sur cette pierre à cuivre. Ce n'était donc pas utile et il est possible que ce soit néfaste. Les pierres contiennent environ 10 % de cuivre, les animaux ont besoin de 60 mg de cuivre donc 600 mg de pierre. Cela ne fait que quelques coups de langue. Supposons que ces vaches négligent la pierre à zinc, elles vont donc avoir une surcharge en cuivre et un déficit en zinc, on risque donc une carence secondaire. C'est un déséquilibre qui n'est pas souhaitable.

M. FRANÇOIS — Vous nous avez parlé de coefficients d'utilisation digestive très faibles, de l'ordre de 10 % et souvent moins. Ils sont très inférieurs à ceux des autres nutriments. S'agit-il d'une très faible digestibilité réelle ou d'une très faible digestibilité qui serait expliquée par une réexcrétion intestinale particulièrement importante ?

D'autre part, vous dites que l'utilisation des oligoéléments varie dans le même sens que l'utilisation de la ration, autrement dit, avec des rations très cellulosiques il y a très peu d'utilisation. S'il s'agit d'une perturbation de l'utilisation digestive réelle on peut penser que le substrat indigestible lignocellulosique se comporte comme une résine échangeuse d'ions capable de fixer un certain nombre d'ions dont les oligoéléments. Ce mécanisme vous paraît-il vraisemblable ? Peut-on maîtriser, dans une certaine mesure, ces facteurs de fixation ou d'élution afin d'améliorer l'utilisation digestive des oligoéléments ?

Je voudrais faire une remarque concernant le terme "besoin". Vous parlez de besoin en oligoélément, défini comme légèrement supérieur au seuil de carence. Personnellement, dans la terminologie, je préférerais "apport recommandé" plutôt que "besoin".

Dr. LAMAND — Il s'agit effectivement d'une digestibilité apparente faible. L'excrétion fécale d'origine endogène est particulièrement élevée dans le cas des oligoéléments. La chélation des oligoéléments par le contenu digestif riche en lignine et en cellulose a été suspectée par quelques auteurs mais pour le moment elle n'a fait l'objet d'aucune étude.



Apport au sol :	1 g/l	2 g/l	3 g/l	Polyestér folaire
0,0001 g/l	0,0001 g/l	0,0001 g/l	0,0001 g/l	0,0001 g/l
0,0002 g/l	0,0002 g/l	0,0002 g/l	0,0002 g/l	0,0002 g/l
0,0003 g/l	0,0003 g/l	0,0003 g/l	0,0003 g/l	0,0003 g/l
0,0004 g/l	0,0004 g/l	0,0004 g/l	0,0004 g/l	0,0004 g/l
0,0005 g/l	0,0005 g/l	0,0005 g/l	0,0005 g/l	0,0005 g/l
0,0006 g/l	0,0006 g/l	0,0006 g/l	0,0006 g/l	0,0006 g/l
0,0007 g/l	0,0007 g/l	0,0007 g/l	0,0007 g/l	0,0007 g/l
0,0008 g/l	0,0008 g/l	0,0008 g/l	0,0008 g/l	0,0008 g/l
0,0009 g/l	0,0009 g/l	0,0009 g/l	0,0009 g/l	0,0009 g/l
0,001 g/l	0,001 g/l	0,001 g/l	0,001 g/l	0,001 g/l
0,002 g/l	0,002 g/l	0,002 g/l	0,002 g/l	0,002 g/l
0,003 g/l	0,003 g/l	0,003 g/l	0,003 g/l	0,003 g/l
0,004 g/l	0,004 g/l	0,004 g/l	0,004 g/l	0,004 g/l
0,005 g/l	0,005 g/l	0,005 g/l	0,005 g/l	0,005 g/l
0,006 g/l	0,006 g/l	0,006 g/l	0,006 g/l	0,006 g/l
0,007 g/l	0,007 g/l	0,007 g/l	0,007 g/l	0,007 g/l
0,008 g/l	0,008 g/l	0,008 g/l	0,008 g/l	0,008 g/l
0,009 g/l	0,009 g/l	0,009 g/l	0,009 g/l	0,009 g/l
0,01 g/l	0,01 g/l	0,01 g/l	0,01 g/l	0,01 g/l
0,02 g/l	0,02 g/l	0,02 g/l	0,02 g/l	0,02 g/l
0,03 g/l	0,03 g/l	0,03 g/l	0,03 g/l	0,03 g/l
0,04 g/l	0,04 g/l	0,04 g/l	0,04 g/l	0,04 g/l
0,05 g/l	0,05 g/l	0,05 g/l	0,05 g/l	0,05 g/l
0,06 g/l	0,06 g/l	0,06 g/l	0,06 g/l	0,06 g/l
0,07 g/l	0,07 g/l	0,07 g/l	0,07 g/l	0,07 g/l
0,08 g/l	0,08 g/l	0,08 g/l	0,08 g/l	0,08 g/l
0,09 g/l	0,09 g/l	0,09 g/l	0,09 g/l	0,09 g/l
0,1 g/l	0,1 g/l	0,1 g/l	0,1 g/l	0,1 g/l
0,2 g/l	0,2 g/l	0,2 g/l	0,2 g/l	0,2 g/l
0,3 g/l	0,3 g/l	0,3 g/l	0,3 g/l	0,3 g/l
0,4 g/l	0,4 g/l	0,4 g/l	0,4 g/l	0,4 g/l
0,5 g/l	0,5 g/l	0,5 g/l	0,5 g/l	0,5 g/l
0,6 g/l	0,6 g/l	0,6 g/l	0,6 g/l	0,6 g/l
0,7 g/l	0,7 g/l	0,7 g/l	0,7 g/l	0,7 g/l
0,8 g/l	0,8 g/l	0,8 g/l	0,8 g/l	0,8 g/l
0,9 g/l	0,9 g/l	0,9 g/l	0,9 g/l	0,9 g/l
1 g/l	1 g/l	1 g/l	1 g/l	1 g/l
1,0001 g/l	1,0001 g/l	1,0001 g/l	1,0001 g/l	1,0001 g/l
1,0002 g/l	1,0002 g/l	1,0002 g/l	1,0002 g/l	1,0002 g/l
1,0003 g/l	1,0003 g/l	1,0003 g/l	1,0003 g/l	1,0003 g/l
1,0004 g/l	1,0004 g/l	1,0004 g/l	1,0004 g/l	1,0004 g/l
1,0005 g/l	1,0005 g/l	1,0005 g/l	1,0005 g/l	1,0005 g/l
1,0006 g/l	1,0006 g/l	1,0006 g/l	1,0006 g/l	1,0006 g/l
1,0007 g/l	1,0007 g/l	1,0007 g/l	1,0007 g/l	1,0007 g/l
1,0008 g/l	1,0008 g/l	1,0008 g/l	1,0008 g/l	1,0008 g/l
1,0009 g/l	1,0009 g/l	1,0009 g/l	1,0009 g/l	1,0009 g/l
1,001 g/l	1,001 g/l	1,001 g/l	1,001 g/l	1,001 g/l
1,002 g/l	1,002 g/l	1,002 g/l	1,002 g/l	1,002 g/l
1,003 g/l	1,003 g/l	1,003 g/l	1,003 g/l	1,003 g/l
1,004 g/l	1,004 g/l	1,004 g/l	1,004 g/l	1,004 g/l
1,005 g/l	1,005 g/l	1,005 g/l	1,005 g/l	1,005 g/l
1,006 g/l	1,006 g/l	1,006 g/l	1,006 g/l	1,006 g/l
1,007 g/l	1,007 g/l	1,007 g/l	1,007 g/l	1,007 g/l
1,008 g/l	1,008 g/l	1,008 g/l	1,008 g/l	1,008 g/l
1,009 g/l	1,009 g/l	1,009 g/l	1,009 g/l	1,009 g/l
1,01 g/l	1,01 g/l	1,01 g/l	1,01 g/l	1,01 g/l
1,02 g/l	1,02 g/l	1,02 g/l	1,02 g/l	1,02 g/l
1,03 g/l	1,03 g/l	1,03 g/l	1,03 g/l	1,03 g/l
1,04 g/l	1,04 g/l	1,04 g/l	1,04 g/l	1,04 g/l
1,05 g/l	1,05 g/l	1,05 g/l	1,05 g/l	1,05 g/l
1,06 g/l	1,06 g/l	1,06 g/l	1,06 g/l	1,06 g/l
1,07 g/l	1,07 g/l	1,07 g/l	1,07 g/l	1,07 g/l
1,08 g/l	1,08 g/l	1,08 g/l	1,08 g/l	1,08 g/l
1,09 g/l	1,09 g/l	1,09 g/l	1,09 g/l	1,09 g/l
1,1 g/l	1,1 g/l	1,1 g/l	1,1 g/l	1,1 g/l
1,2 g/l	1,2 g/l	1,2 g/l	1,2 g/l	1,2 g/l
1,3 g/l	1,3 g/l	1,3 g/l	1,3 g/l	1,3 g/l
1,4 g/l	1,4 g/l	1,4 g/l	1,4 g/l	1,4 g/l
1,5 g/l	1,5 g/l	1,5 g/l	1,5 g/l	1,5 g/l
1,6 g/l	1,6 g/l	1,6 g/l	1,6 g/l	1,6 g/l
1,7 g/l	1,7 g/l	1,7 g/l	1,7 g/l	1,7 g/l
1,8 g/l	1,8 g/l	1,8 g/l	1,8 g/l	1,8 g/l
1,9 g/l	1,9 g/l	1,9 g/l	1,9 g/l	1,9 g/l
2 g/l	2 g/l	2 g/l	2 g/l	2 g/l
2,0001 g/l	2,0001 g/l	2,0001 g/l	2,0001 g/l	2,0001 g/l
2,0002 g/l	2,0002 g/l	2,0002 g/l	2,0002 g/l	2,0002 g/l
2,0003 g/l	2,0003 g/l	2,0003 g/l	2,0003 g/l	2,0003 g/l
2,0004 g/l	2,0004 g/l	2,0004 g/l	2,0004 g/l	2,0004 g/l
2,0005 g/l	2,0005 g/l	2,0005 g/l	2,0005 g/l	2,0005 g/l
2,0006 g/l	2,0006 g/l	2,0006 g/l	2,0006 g/l	2,0006 g/l
2,0007 g/l	2,0007 g/l	2,0007 g/l	2,0007 g/l	2,0007 g/l
2,0008 g/l	2,0008 g/l	2,0008 g/l	2,0008 g/l	2,0008 g/l
2,0009 g/l	2,0009 g/l	2,0009 g/l	2,0009 g/l	2,0009 g/l
2,001 g/l	2,001 g/l	2,001 g/l	2,001 g/l	2,001 g/l
2,002 g/l	2,002 g/l	2,002 g/l	2,002 g/l	2,002 g/l
2,003 g/l	2,003 g/l	2,003 g/l	2,003 g/l	2,003 g/l
2,004 g/l	2,004 g/l	2,004 g/l	2,004 g/l	2,004 g/l
2,005 g/l	2,005 g/l	2,005 g/l	2,005 g/l	2,005 g/l
2,006 g/l	2,006 g/l	2,006 g/l	2,006 g/l	2,006 g/l
2,007 g/l	2,007 g/l	2,007 g/l	2,007 g/l	2,007 g/l
2,008 g/l	2,008 g/l	2,008 g/l	2,008 g/l	2,008 g/l
2,009 g/l	2,009 g/l	2,009 g/l	2,009 g/l	2,009 g/l
2,01 g/l	2,01 g/l	2,01 g/l	2,01 g/l	2,01 g/l
2,02 g/l	2,02 g/l	2,02 g/l	2,02 g/l	2,02 g/l
2,03 g/l	2,03 g/l	2,03 g/l	2,03 g/l	2,03 g/l
2,04 g/l	2,04 g/l	2,04 g/l	2,04 g/l	2,04 g/l
2,05 g/l	2,05 g/l	2,05 g/l	2,05 g/l	2,05 g/l
2,06 g/l	2,06 g/l	2,06 g/l	2,06 g/l	2,06 g/l
2,07 g/l	2,07 g/l	2,07 g/l	2,07 g/l	2,07 g/l
2,08 g/l	2,08 g/l	2,08 g/l	2,08 g/l	2,08 g/l
2,09 g/l	2,09 g/l	2,09 g/l	2,09 g/l	2,09 g/l
2,1 g/l	2,1 g/l	2,1 g/l	2,1 g/l	2,1 g/l
2,2 g/l	2,2 g/l	2,2 g/l	2,2 g/l	2,2 g/l
2,3 g/l	2,3 g/l	2,3 g/l	2,3 g/l	2,3 g/l
2,4 g/l	2,4 g/l	2,4 g/l	2,4 g/l	2,4 g/l
2,5 g/l	2,5 g/l	2,5 g/l	2,5 g/l	2,5 g/l
2,6 g/l	2,6 g/l	2,6 g/l	2,6 g/l	2,6 g/l
2,7 g/l	2,7 g/l	2,7 g/l	2,7 g/l	2,7 g/l
2,8 g/l	2,8 g/l	2,8 g/l	2,8 g/l	2,8 g/l
2,9 g/l	2,9 g/l	2,9 g/l	2,9 g/l	2,9 g/l
3 g/l	3 g/l	3 g/l	3 g/l	3 g/l
3,0001 g/l	3,0001 g/l	3,0001 g/l	3,0001 g/l	3,0001 g/l
3,0002 g/l	3,0002 g/l	3,0002 g/l	3,0002 g/l	3,0002 g/l
3,0003 g/l	3,0003 g/l	3,0003 g/l	3,0003 g/l	3,0003 g/l
3,0004 g/l	3,0004 g/l	3,0004 g/l	3,0004 g/l	3,0004 g/l
3,0005 g/l	3,0005 g/l	3,0005 g/l	3,0005 g/l	3,0005 g/l
3,0006 g/l	3,0006 g/l	3,0006 g/l	3,0006 g/l	3,0006 g/l
3,0007 g/l	3,0007 g/l	3,0007 g/l	3,0007 g/l	3,0007 g/l
3,0008 g/l	3,0008 g/l	3,0008 g/l	3,0008 g/l	3,0008 g/l
3,0009 g/l	3,0009 g/l	3,0009 g/l	3,0009 g/l	3,0009 g/l
3,001 g/l	3,001 g/l	3,001 g/l	3,001 g/l	3,001 g/l
3,002 g/l	3,002 g/l	3,002 g/l	3,002 g/l	3,002 g/l
3,003 g/l	3,003 g/l	3,003 g/l	3,003 g/l	3,003 g/l
3,004 g/l	3,004 g/l	3,004 g/l	3,004 g/l	3,004 g/l
3,005 g/l	3,005 g/l	3,005 g/l	3,005 g/l	3,005 g/l
3,006 g/l	3,006 g/l	3,006 g/l	3,006 g/l	3,006 g/l
3,007 g/l	3,007 g/l	3,007 g/l	3,007 g/l	3,007 g/l
3,008 g/l	3,008 g/l	3,008 g/l	3,008 g/l	3,008 g/l
3,009 g/l	3,009 g/l	3,009 g/l	3,009 g/l	3,009 g/l
3,01 g/l	3,01 g/l	3,01 g/l	3,01 g/l	3,01 g/l
3,02 g/l	3,02 g/l	3,02 g/l	3,02 g/l	3,02 g/l
3,03 g/l	3,03 g/l	3,03 g/l	3,03 g/l	3,03 g/l
3,04 g/l	3,04 g/l	3,04 g/l	3,04 g/l	3,04 g/l
3,05 g/l	3,05 g/l	3,05 g/l	3,05 g/l	3,05 g/l
3,06 g/l	3,06 g/l	3,06 g/l	3,06 g/l	3,06 g/l
3,07 g/l	3,07 g/l	3,07 g/l	3,07 g/l	3,07 g/l
3,08 g/l	3,08 g/l	3,08 g/l	3,08 g/l	3,08 g/l
3,09 g/l	3,09 g/l	3,09 g/l	3,09 g/l	3,09 g/l
3,1 g/l	3,1 g/l	3,1 g/l	3,1 g/l	3,1 g/l
3,2 g/l	3,2 g/l	3,2 g/l	3,2 g/l	3,2 g/l
3,3 g/l	3,3 g/l	3,3 g/l	3,3 g/l	3,3 g/l
3,4 g/l	3,4 g/l	3,4 g/l	3,4 g/l	3,4 g/l
3,5 g/l	3,5 g/l	3,5 g/l	3,5 g/l	3,5 g/l
3,6 g/l	3,6 g/l	3,6 g/l	3,6 g/l	3,6 g/l
3,7 g/l	3,7 g/l	3,7 g/l	3,7 g/l	3,7 g/l
3,8 g/l	3,8 g/l	3,8 g/l	3,8 g/l	3,8 g/l
3,9 g/l	3,9 g/l	3,9 g/l	3,9 g/l	3,9 g/l
4 g/l	4 g/l	4 g/l	4 g/l	4 g/l
4,0001 g/l	4,0001 g/l	4,0001 g/l	4,0001 g/l	4,0001 g/l
4,0002 g/l	4,0002 g/l	4,0002 g/l	4,0002 g/l	4,0002 g/l
4,0003 g/l	4,0003 g/l	4,0003 g/l	4,0003 g/l	4,0003 g/l
4,0004 g/l	4,0004 g/l	4,0004 g/l	4,0004 g/l	4,0004 g/l
4,0005 g/l	4,0005 g/l	4,0005 g/l	4,0005 g/l	4,0005 g/l
4,0006 g/l	4,0006 g/l	4,0006 g/l	4,0006 g/l	4,0006 g/l
4,0007 g/l	4,0007 g/l	4,0007 g/l	4,0007 g/l	4,0007 g/l
4,0008 g/l	4,0008 g/l	4,0008 g/l	4,0008 g/l	4,0008 g/l
4,0009 g/l	4,0009 g/l	4,0009 g/l	4,0009 g/l	4,0009 g/l
4,001 g/l	4,001 g/l	4,001 g/l	4,001 g/l	4,001 g/l
4,002 g/l	4,002 g/l	4,002 g/l	4,002 g/l	4,002 g/l
4,003 g/l	4,003 g/l	4,003 g/l	4,003 g/l	4,003 g/l
4,004 g/l	4,004 g/l	4,004 g/l	4,004 g/l	4,004 g/l
4,005 g/l	4,005 g/l	4,005 g/l	4,005 g/l	4,005 g/l
4,006 g/l	4,006 g/l	4,006 g/l	4,006 g/l	4,006 g/l
4,007 g/l	4,007 g/l	4,007 g/l	4,007 g/l	4,007 g/l
4,008 g/l	4,008 g/l	4,008 g/l	4,008 g/l	4,008 g/l
4,009 g/l	4,009 g/l	4,009 g/l	4,009 g/l	4,009 g/l
4,01 g/l	4,01 g/l	4,01 g/l	4,01 g/l	4,01 g/l
4,02 g/l	4,02 g/l	4,02 g/l	4,02 g/l	4,02 g/l
4,03 g/l	4,03 g/l	4,03 g/l	4,03 g/l	4,03 g/l
4,04 g/l	4,04 g/l	4,04 g/l	4,04 g/l	4,04 g/l
4,05 g/l	4,05 g/l	4,05 g/l	4,05 g/l	4,05 g/l
4,06 g/l	4,06 g/l	4,06 g/l	4,06 g/l	4,06 g/l
4,07 g/l	4,07 g/l	4,07 g/l	4,07 g/l	4,07 g/l
4,08 g/l	4,08 g/l	4,08 g/l	4,08 g/l	4,08 g/l
4,09 g/l	4,09 g/l	4,09 g/l	4,09 g/l	4,09 g/l
4,1 g/l	4,1 g/l	4,1 g/l	4,1 g/l	4,1 g/l
4,2 g/l	4,2 g/l	4,2 g/l	4,2 g/l	4,2 g/l
4,3 g/l	4,3 g/l	4,3 g/l	4,3 g/l	4,3 g/l
4,4 g/l	4,4 g/l	4,4 g/l	4,4 g/l	4,4 g/l
4,5 g/l	4,5 g/l	4,5 g/l	4,5 g/l	4,5 g/l
4,6 g/l	4,6 g/l	4,6 g/l	4,6 g/l	4,6 g/l
4,7 g/l	4,7 g/l	4,7 g/l	4,7 g/l	4,7 g/l
4,8 g/l	4,8 g/l	4,8 g/l	4,8 g/l	4,8 g/l
4,9 g/l	4,9 g/l	4,9 g/l	4,9 g/l	4,9 g/l
5 g/l	5 g/l	5 g/l	5 g/l	5 g/l

POSSIBILITES D'ENRICHISSEMENT EN OLIGOELEMENTS DU MAÏS ET DES FOURRAGES SUR PIED. APPORTS AU SOL ET PULVERISATIONS FOLIAIRES

M. COPPENET * et Mme S. PERIGAUD **

**INRA - Station d'Agronomie
R. de Stang Vihan. 29000 QUIMPER

**I.N.R.A. - C.R.Z.V. de Theix
Station de Physiopathologie de la Nutrition
Saint-Genès Champanelle - 63110 BEAUMONT

I INTRODUCTION

L'existence de subcarences en oligoéléments chez les ruminants, en France a été démontrée récemment. Elles sont dues, le plus souvent, à une relative pauvreté des fourrages, dont les teneurs en cuivre, zinc, sélénium... sont inférieures aux seuils de carence pour l'animal (PERIGAUD et al., 1972).

La prophylaxie de ces carences peut faire appel à deux types de méthodes, soit la complémentation minérale directe des animaux, soit l'enrichissement des fourrages sur pied. Cette dernière méthode peut être intéressante dans les cas de self-service ou au pâturage.

L'enrichissement peut être obtenu soit par apport au sol, soit par pulvérisation foliaire. Nous présentons ci-dessus les résultats des travaux réalisés en ce domaine par la Station d'Agronomie de Quimper et au C.R.Z.V. de Theix.

II METHODES D'APPORT

Nous avons expérimenté à Quimper quatre techniques d'apport possible pour les prairies temporaires, dont trois d'apports au sol :

- 1) Enfouissement par le labour qui précède le semis,
- 2) Incorporation par les façons superficielles qui précèdent le semis,
- 3) Apport sur la prairie en place au début de la végétation,
- 4) Pulvérisation foliaire,

TAB. I Indices d'enrichissement obtenus pour des ray-grass italiens récoltés
au stade pâture selon le mode d'apport du sel

Apport au sol :	1 Enfouissement par labour	2 Façons superficielles	3 Prairie en place	Pulvérisation foliaire
Cuivre , sulfate 120 kg/ha (1)	× 1,1	× 1,2	× 1,33	0,5 kg/ha × 2 (2)
Zinc , sulfate 50 kg/ha	—	× 2,5	× 2,4	2 kg/ha × 2
Cobalt , sulfate 2 kg/ha	× 1,25	× 2,5	× 10	10 g/ha × 2,6

Remarques - (1) Par rapport aux quantités d'éléments contenues dans la récolte d'une année les quantités apportées au sol sont 30 fois plus fortes pour le zinc et 400 fois plus fortes pour le cuivre et le cobalt.

(2) Par rapport aux quantités d'éléments contenues dans l'exploitation à venir les pulvérisations apportent 5 fois cette quantité pour le zinc, 10 fois pour le cuivre et 15 fois pour le cobalt.

Les résultats sont indiqués sur le tableau I. On remarque que, parmi les méthodes d'apport au sol, l'épandage sur prairie déjà implantée est la plus efficace. Pour le cuivre, la pulvérisation foliaire est encore plus intéressante.

III ENRICHISSEMENT EN CUIVRE

1) Apport au sol sur la prairie déjà en place

a) I.N.R.A. Quimper, sur Ray-Grass d'Italie

Apport du sulfate de cuivre (CuSO₄, 5 H₂O) à sec, en janvier, sur un ray-grass de seconde année aux doses de 30, 60 et 120 kg/ha, la première dose étant celle qui est nécessaire à la guérison d'une carence.

Les teneurs en cuivre obtenues sont indiquées sur le tableau II. Les indices d'enrichissement moyens en cuivre, par rapport au témoin pour les trois exploitations au stade pâture, effectuées en avril, juin et juillet de cette même année ont été de :

30 kg/ha	Cu x 1,15
60 kg/ha	Cu x 1,20
120 kg/ha	Cu x 1,33

TAB. II Enrichissement en cuivre du R.G.I. au stade pâture

I. Apport à sec sur la prairie en place le 26.1.70 (début de la seconde année)				
Teneurs en mg de Cu/kg de MS				
	Témoin	30 kg/ha	CuSO ₄ , 5 H ₂ O 60 kg/ha	120 kg/ha
1ère coupe, 29.4.70	3,66	4,50	4,40	4,80
Indice	1	1,23	1,20	1,30
2ème coupe, 1.6.70	5,00	5,30	6,00	6,66
Indice	1	1,08	1,20	1,33
3ème coupe, 2.7.70	7,78	8,90	9,66	10,38
Indice	1	1,14	1,24	1,33
II. Pulvérisations foliaires de CuSO ₄ , 5 H ₂ O à 0,5 p. 1 000				
	Témoin	Jour de la coupe	Repousses 7 cm	Repousses 15 cm
1ère coupe, 8.5.69	5,40	5,38	6,64	11,75
Indice	1	1	1,23	2,17
2ème coupe, 5.6.69	6,15	6,62	9,19	12,85
Indice	1	1,07 (N.S.)	1,49 (H.S.)	2,09 (H.S.)
3ème coupe, 8.7.69	7,73	7,80	9,10	12,66
Indice	1	1,01	1,18	1,63

b) I.N.R.A. Theix, sur graminées diverses et luzerne

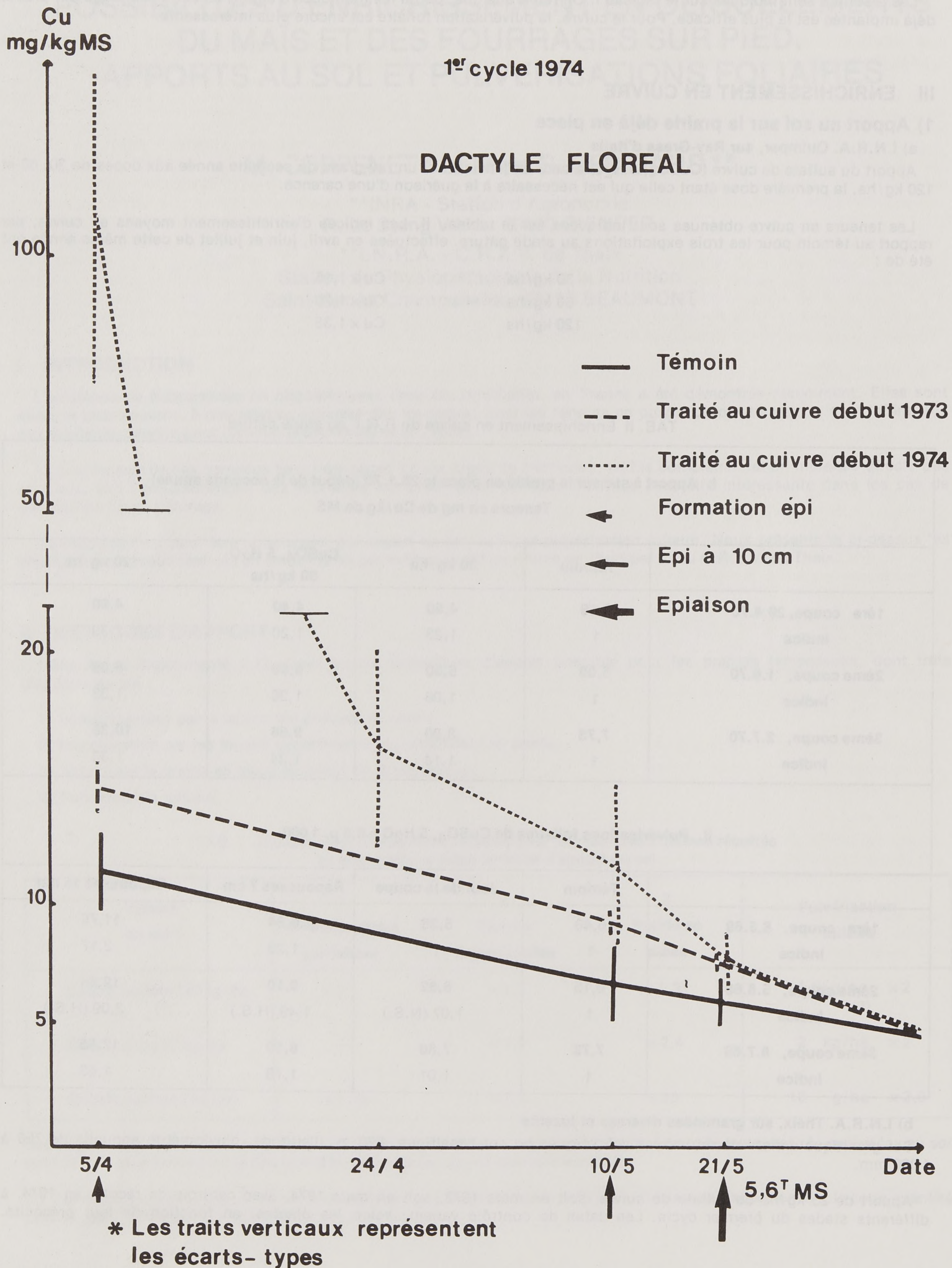
Sol granitique enrichi de retombées volcaniques ou sol basaltique, 820 m. d'altitude, pluviométrie annuelle de 750 à 1 000 mm.

Apport de 25 kg/ha de sulfate de cuivre, soit en mars 1973, soit en mars 1974, avec contrôle de récolte en 1974, à différents stades du premier cycle. Les dates de contrôle varient, selon les plantes, en fonction de leur précocité.

FIG. I APPORT DE CUIVRE AU SOL

1^{er} cycle 1974

DACTYLE FLOREAL



Les résultats sont indiqués sur le tableau III et la figure I.

TAB. III Effet d'un apport de cuivre au sol sur la teneur en cuivre de fourrages
Essai C.R.Z.V. premier cycle - 1974
Cu mg / kg MS

	Stade déprimage				Stade pâture				Stade ensilage			
	Date	Témoin	Traité en		Date	Témoin	Traité en		Date	Témoin	Traité en	
			1973 (1)	1974 (2)			1973 (1)	1974 (2)			1973 (1)	1974 (2)
Dactyle (Floréal)	5/4	11,2	14,6**	106,0**	10/5	6,7	9,0**	11,4**	21/5	5,9	7,4**	7,4
Brome (Lubrome)	8/4	11,3	13,8**	67,1**	13/5	8,5*	9,9*	13,9**	28/5	7,4	9,2*	10,3*
Fétuque élevée (Clarisse)	8/4	9,4	10,5*	32,5**	13/5	6,6	8,1*	12,3**	28/5	6,1	7,3*	8,4*
Fétuque des prés (Séquana)	2/5	5,6	8,4*	10,4**	21/5	5,2	6,8	6,8	5/6	4,9	6,1	5,4
Luzerne (du Puits)	7/5	8,3	9,4*	16,3**	18/6	8,5	8,7	10,1*	18/6	6,6	7,0	7,2
Ray-Grass Anglais	24/4	8,3	11,3**	15,9**	21/6	5,7	7,3*	8,0**				
(1) Apport de cuivre en mars 1973 - (2) Apport de cuivre le 21 mars 1974 * Différence significative par rapport au témoin à $P < 0,05$ - ** Différence hautement significative à $P < 0,01$												

- Au stade déprimage les teneurs en cuivre sont très variables. Celles des plantes les plus précoces (récoltées moins de un mois après l'apport de cuivre) sont très élevées (plus de 100 ppm pour le dactyle floréal). Celles des plantes tardives (fétuque des prés Séquana, ray-grass anglais Melle Pâturage) sont moins du double de celles des témoins.

- Au stade pâture, les teneurs sont multipliées par 1,2 à 1,3.

Autrement dit, les excès de teneurs des premiers stades diminuent rapidement.

Le même tableau montre qu'un apport de cuivre une année marque encore l'année suivante (teneurs × 1,1 à 1,5, quel que soit le stade).

2) Pulvérisation foliaire

La pulvérisation est répétée à chaque cycle. L'apport tient compte des concentrations susceptibles de provoquer des brûlures.

a) I.N.R.A. Quimper, sur ray-grass italien

Solution à 0,5 p. 1 000 de sulfate de cuivre (sans mouillant) qui apporte 135 g de Cu/ha, pulvérisée sur un ray-grass de première année toujours récolté au stade pâture soit le jour de la coupe soit lorsque les repousses atteignent 7 cm de longueur, soit lorsqu'elles atteignent 15 cm de longueur (sensiblement, après une semaine et après deux semaines). Les trois exploitations de l'année 1969 ont été faites à environ un mois d'intervalle (les résultats sont indiqués sur le tableau II, 2° partie). L'enrichissement obtenu est plus important que par le cuivre apporté au sol, surtout en premier et deuxième cycle. Les indices d'enrichissement moyens, pour les trois cycles sont les suivants :

- pulvérisation, jour de la coupe Cu × 1,01 à × 1,07
- pulvérisation, après 1 semaine Cu × 1,18 à × 1,49
- pulvérisation, après 2 semaines Cu × 1,63 à × 2,17

L'enrichissement est d'autant plus marqué que la pulvérisation est plus tardive, parce que le système foliaire est plus développé.

Cu
mg/kg MS

FIG. II PULVERISATION FOLIAIRE DE SULFATE DE CUIVRE
SUR FETUQUE ELEVEE (Lutine)

1^{er} cycle 1972

Légende

+125 Cu

+125 Cu

Cu total du fourrage

Cu extrait des traités par
lavage à l'eau

Pluies: 1mm=1mm de pluie
en 24 h

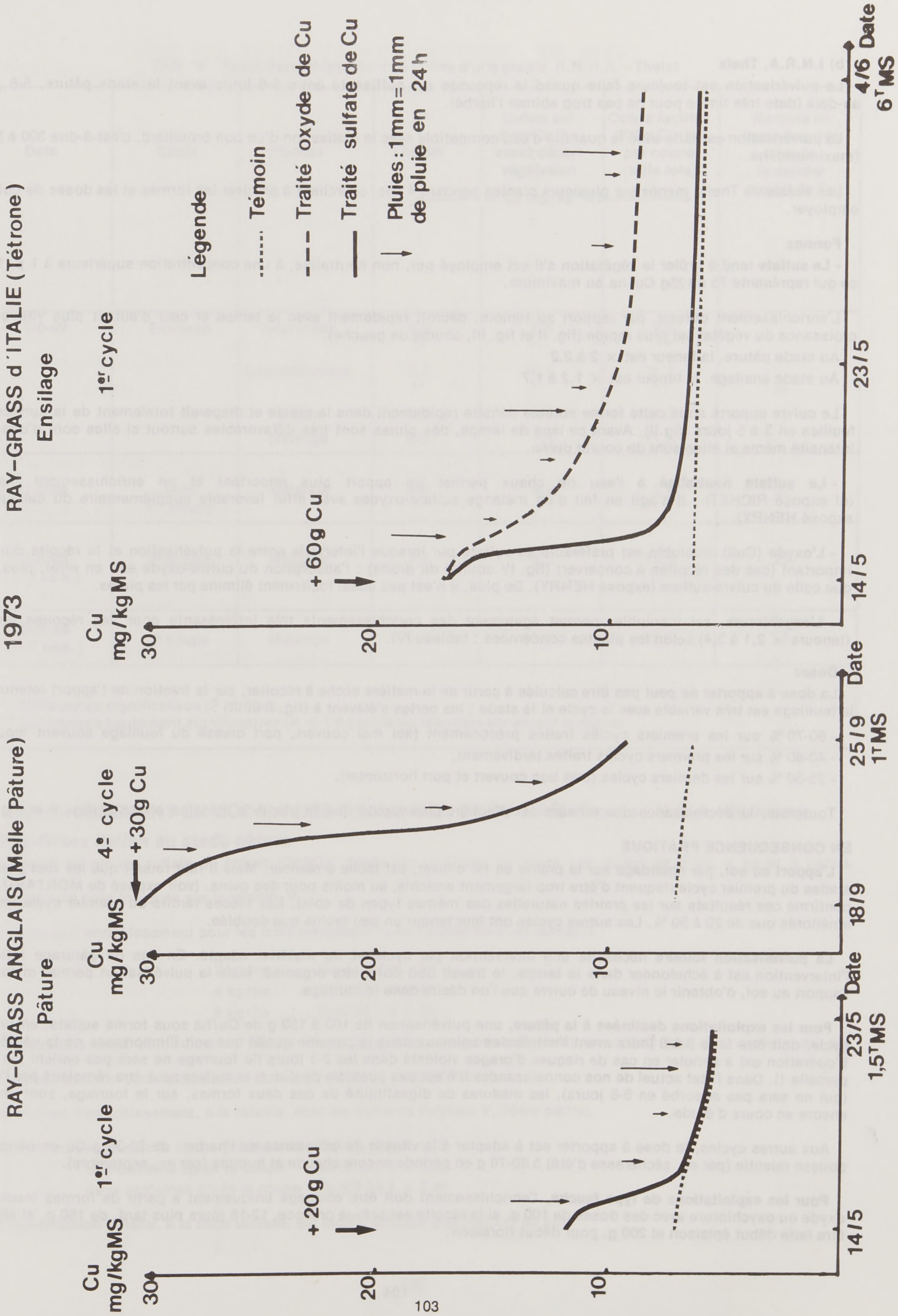
Traité le 19/5
Traité le 26/4
Témoin

26/4
Stade
Herbacé

19/5
Epi à 20cm

7/6 Date
Début
Epiaison → 7^{MS}

FIG. III PULVERISATION FOLIAIRE DE SELS DE CUIVRE



b) I.N.R.A. Theix

La pulvérisation est toujours faite quand la repousse est suffisante entre 5-8 jours avant le stade pâture, 5-6 jours au-delà (date très limite pour ne pas trop abîmer l'herbe).

La pulvérisation est faite avec la quantité d'eau compatible avec la réalisation d'un bon brouillard, c'est-à-dire 300 à 500 l. (maximum)/ha.

Les essais de Theix, menés sur plusieurs plantes pendant 4 ans, cherchent à préciser les formes et les doses de cuivre à employer.

Formes

- **Le sulfate** tend à brûler la végétation s'il est employé pur, non neutralisé, à une concentration supérieure à 1 p. 1 000, ce qui représente 75 à 125g Cu/ha au maximum.

L'enrichissement obtenu, par rapport au témoin, décroît rapidement avec le temps et ceci d'autant plus vite que la croissance du végétal est plus rapide (fig. II et fig. III, courbe de gauche).

Au stade pâture, la teneur est $\times 2$ à 2,2

Au stade ensilage, la teneur est $\times 1,2$ à 1,7

Le cuivre apporté sous cette forme soluble pénètre rapidement dans la plante et disparaît totalement de la surface des feuilles en 3 à 5 jours (fig. II). Avant ce laps de temps, des pluies sont très défavorables surtout si elles sont d'une forte intensité même si elles sont de courte durée.

- **Le sulfate neutralisé** à l'eau de chaux permet un apport plus important et un enrichissement meilleur (cf exposé RICHET) : il s'agit en fait d'un mélange sulfate-oxydes avec effet favorable supplémentaire du calcium (cf exposé HENRY).

- **L'oxyde** (CuO) insoluble est préférable au sulfate pur lorsque l'intervalle entre la pulvérisation et la récolte doit être important (cas des récoltes à conserver) (fig. IV courbe de droite) : l'absorption du cuivre-oxyde est, en effet, plus lente que celle du cuivre-sulfate (exposé HENRY). De plus, il n'est pas aussi facilement éliminé par les pluies.

- **L'oxychlorure**, sel insoluble, permet également des enrichissements très intéressants pour des récoltes tardives (teneurs $\times 2,1$ à 3,4) selon les plantes concernées : tableau IV).

Doses

La dose à apporter ne peut pas être calculée à partir de la matière sèche à récolter, car la fraction de l'apport retenue par le feuillage est très variable avec le cycle et le stade ; les pertes s'élèvent à (fig. II et III) :

- 60-70 % sur les premiers cycles traités précocement (sol mal couvert, port dressé du feuillage souvent mouillé),
- 40-60 % sur les premiers cycles traités tardivement,
- 25-30 % sur les derniers cycles (très bon couvert et port horizontal).

Toutefois, la décroissance des teneurs est d'autant plus rapide que la plante a été plus enrichie (fig. II et fig. III).

EN CONSEQUENCE PRATIQUE

L'apport au sol, par épandage sur la prairie en fin d'hiver, est facile à réaliser. Mais il faut retenir que les tout premiers stades du premier cycle risquent d'être trop largement enrichis, au moins pour des ovins. (voir exposé de MONTARD qui a confirmé ces résultats sur les prairies naturelles des mêmes types de sols). Les stades tardifs du premier cycle ne sont améliorés que de 20 à 50 %. Les autres cycles ont leur teneur un peu moins que doublée.

La pulvérisation foliaire nécessite une intervention par cycle et du matériel adapté. En cas de pâturage rationné, l'intervention est à échelonner dans le temps, le travail doit donc être organisé. Mais la pulvérisation permet mieux que l'apport au sol, d'obtenir le niveau de cuivre que l'on désire dans le fourrage.

Pour les exploitations destinées à la pâture, une pulvérisation de 100 à 150 g de Cu/ha sous forme sulfate, en premier cycle, doit être faite 5 à 8 jours avant l'entrée des animaux dans la parcelle quelle que soit l'importance de la végétation. L'opération est à annuler en cas de risques d'orages violents dans les 2-3 jours (le fourrage ne sera pas enrichi sur cette parcelle !). Dans l'état actuel de nos connaissances il n'est pas possible de dire si le sulfate peut être remplacé par l'oxyde (qui ne sera pas absorbé en 5-8 jours), les mesures de digestibilité de ces deux formes, sur le fourrage, sont en effet encore en cours d'étude.

Aux autres cycles, la dose à apporter est à adapter à la vitesse de croissance de l'herbe : de 20-30 g Cu en période de pousse ralentie (par ex. sécheresse d'été) à 60-70 g en période encore chaude et humide (par ex. septembre).

Pour les exploitations de type fauche, l'enrichissement doit être envisagé uniquement à partir de formes insolubles, oxyde ou oxychlorure avec des doses de 100 g. si la récolte est prévue précoce, 12-15 jours plus tard, de 150 g. si elle doit être faite début épiaison et 200 g. pour début floraison.

TAB. IV Essai d'enrichissement en cuivre d'une prairie (I.N.R.A. - Theix)

Date	Stade	Plantes	Témoin	Cuivre sol 6 kg Cu / ha avant départ végétation	Cuivre feuilles 200 g Cu / ha par coupe (trois fois)	Nombre de jours écoulés depuis le dernier apport de Cu
				← Cu mg / kg MS →		
3-6-69	Ensilage	Graminées	4,8 **	6,5 **	9,9 **	20
		Légumineuses	6,7 **	10,1 **	21,7 **	
		Divers	9,1	12,8	24,7	
		Mélange	5,5 **	7,8 *	11,9 **	
17-6-69	Foin 1 ^{re} coupe	Mélange	5,4 **	6,2 **	7,9 **	35
4-8-69 (+ 7 sem.)	2 ^e coupe	Mélange	7,8 **	8,2 **	14,8 **	23
24-9-69 (+ 7 sem.)	3 ^e coupe	Mélange	9,0 *	10,6 **	15,8 **	18

* Différences significatives (P < 5%).

** Différences hautement significatives (P < 1%) entre les résultats encadrant le signe.

IV ENRICHISSEMENT EN COBALT DES GRAMINEES ET DU MAÏS (Essais I.N.R.A. Quimper)

1 - Ray-Grass italien au stade pâture

a - Apport au sol de sulfate de cobalt ($\text{CoSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$) sur la prairie en place aux doses de 2 kg, 4 kg et 8 kg/ha.

Les résultats sont indiqués sur le tableau V.

Les indices d'enrichissement pour les trois exploitations de l'année sont les suivants :

2 kg/ha	$\text{Co} \times 6,5 \text{ à } \times 11$
4 kg/ha	$\text{Co} \times 13 \text{ à } \times 21$
8 kg/ha	$\text{Co} \times 24 \text{ à } \times 34$

Ces résultats nous confirment la facilité avec laquelle le ray-grass s'enrichit en cobalt par des apports au sol.

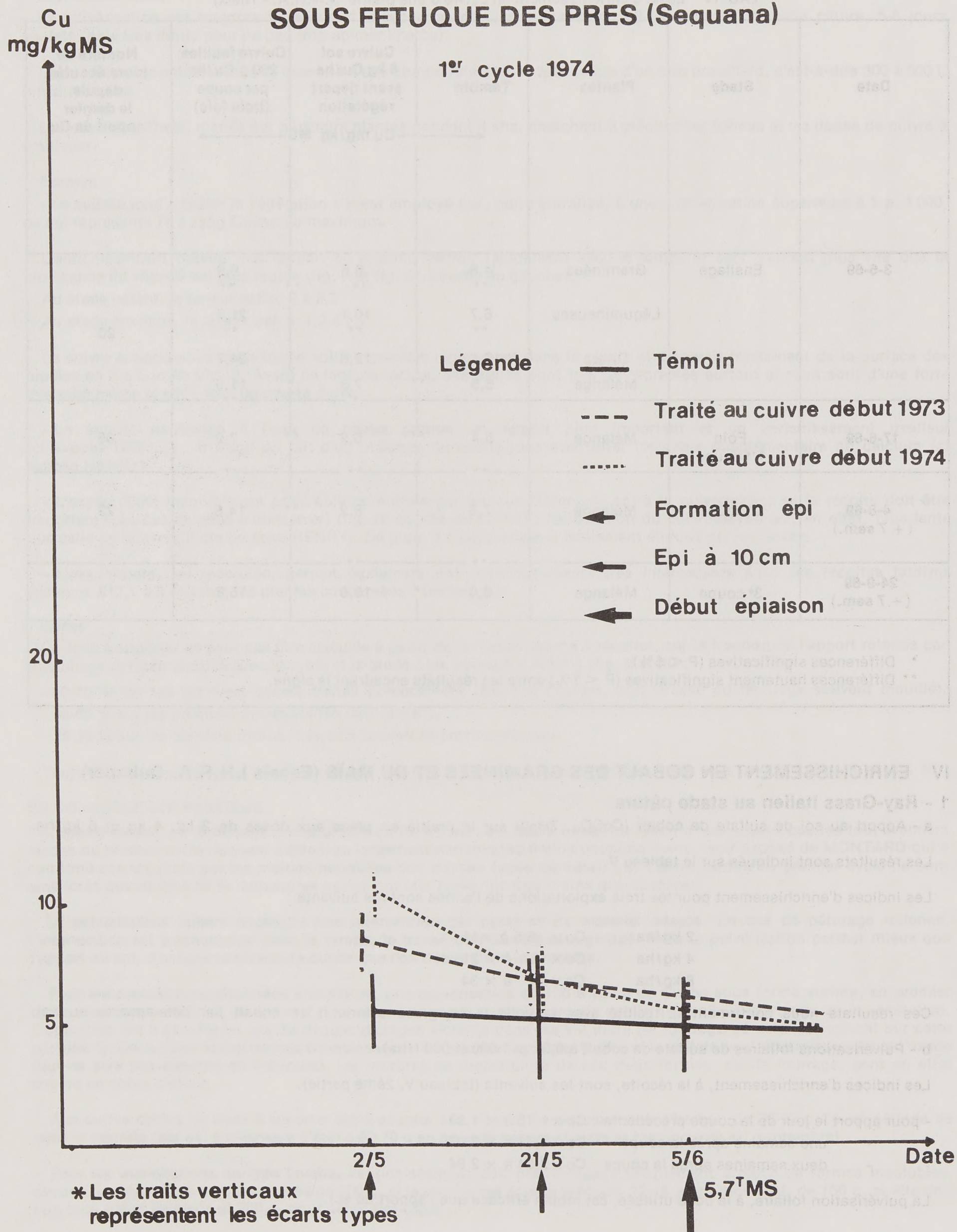
b - Pulvérisations foliaires de sulfate de cobalt à 0,01 p. 1 000 (1 000 l/ha).

Les indices d'enrichissement, à la récolte, sont les suivants (tableau V, 2ème partie).

- pour apport le jour de la coupe précédente $\text{Co} \times 1,18 \text{ à } \times 1,39$
- - une semaine après la coupe $\text{Co} \times 1,43 \text{ à } \times 2,02$
- - deux semaines après la coupe $\text{Co} \times 2,34 \text{ à } \times 2,84$

La pulvérisation foliaire, à la dose utilisée, est moins efficace que l'apport au sol.

**FIG. IV APPORT DE CUIVRE AU SOL
SOUS FETUQUE DES PRES (Sequana)**



2 - Maïs plante entière

Il faut apporter 16 kg/ha de sulfate de cobalt aux façons superficielles précédant le semis de maïs pour multiplier la teneur des témoins (0,02 ppm Co) par trois et arriver au voisinage du seuil de carence (0,07 ppm).

TAB. V Enrichissement en cobalt du R.G.I. au stade pâture

I. Apport à sec sur la prairie en place le 26.1.70 (début de la seconde année)				
Teneurs en mg de Co / kg MS				
	Témoin	Co SO ₄ , 7 H ₂ O		
		2 kg / ha	4 kg / ha	8 kg / ha
1ère coupe, 29.4.70	0,066	0,73	1,41	2,28
Indice	1	11,0	21,3	34,5
2ème coupe, 1.6.70	0,080	0,68	1,21	1,94
Indice	1	8,5	15,1	24,2
3ème coupe, 2.7.70	0,054	0,35	0,70	1,57
Indice	1	6,48	12,9	29,1
II. Pulvérisations foliaires de CoSO ₄ , 7 H ₂ O à 0,01 p. 1 000				
	Témoin	Jour de la coupe	Repousses 7 cm	Repousses 15 cm
1ère coupe, 8.5.69	0,057	0,069	0,100	0,162
Indice	1	1,21	1,75	2,84
2ème coupe, 5.6.69	0,079	0,109	0,160	0,185
Indice	1	1,39 (S.)	2,02 (H.S.)	2,34 (H.S.)
3ème coupe, 8.7.69	0,056	0,066	0,080	0,154
Indice	1	1,18	1,43	2,75

V ENRICHISSEMENT EN ZINC DES GRAMINEES

(Essais I.N.R.A. Quimper)

Ray-Grass italien au stade pâture

a - Apport au sol de sulfate de zinc (ZnSO₄, 7 H₂O) sur la prairie en place aux doses de 10, 25 et 50 kg / ha (tableau VI).

Il faut atteindre la dose de 50 kg/ha pour multiplier la teneur du témoin (25 ppm Zn) par 2,5 et arriver ainsi aux environs de 60 ppm.

b - Pulvérisations foliaires de sulfate de zinc à 1 p. 1 000 (2 000 l/ha).

Les indices d'enrichissement sont les suivants (tableau VI) :

- pour l'apport le jour de la coupe précédente Zn × 1,03
- - une semaine après la coupe Zn × 1,77
- - deux semaines après la coupe Zn × 2,08

Ces résultats sont ainsi du même ordre de grandeur que ceux obtenus avec le sulfate de cuivre.

VI LE MOLYBDENE DANS LES PLANTES FOURRAGERES

1) Travaux DUVAL - I.N.R.A. Quimper

Les ray-grass au stade pâture récoltés dans le Finistère ont une teneur moyenne de 1,2 ppm avec comme écarts 0,1 et 3 ppm ; au stade épiaison ces mêmes ray-grass sont moins riches car la teneur moyenne n'est plus que de 0,8 ppm.

Les autres plantes fourragères (maïs, choux, betteraves) présentent des teneurs comprises entre 0,05 et 1,5 ppm.

TAB. VI Enrichissement en zinc du R.G.I. au stade pâture

I. Apport à sec sur la prairie en place le 25.7.72 après la première coupe (première année) Teneurs en mg de Zn/kg MS				
	Zn SO ₄ , 7 H ₂ O			
	Témoin	10 kg/ha	25 kg/ha	50 kg/ha
Coupe du 6. 9.72	20,9	26,2	35,1	52,3
Indice	1	1,25	1,68	2,50
Coupe du 7.11.72	26,8	30,6	43,2	58,2
Indice	1	1,14	1,61	2,17
Coupe du 4. 5.73	22,1	27,5	44,9	56,2
Indice	1	1,24	2,03	2,54
II. Pulvérisations foliaires de ZnSO ₄ , 7 H ₂ O à 1 p. 1 000				
	Témoin	Jour de la coupe	Repousses 7 cm	Repousses 15 cm
Coupe du 13. 8.74	36,3	37,5	64,3	75,4
Indice	1	1,03	1,77	2,08

La guérison des carences molybdiques (sur luzerne par exemple) nécessitant l'apport au sol de 2 kg/ha d'un molybdate, DUVAL a expérimenté sur ray-grass italien les doses de 2, 4 et 8 kg/ha de molybdate de sodium, soit enfoui par labour avant semis, soit seulement enfoui par les façons superficielles. Les résultats sont donnés dans le tableau VII : la plus faible dose de 2 kg/ha mise en couverture élève déjà la teneur des récoltes au stade pâture jusqu'à 5 ppm au printemps et 16 ppm en octobre. Par enfouissement au labour il faut 8 kg/ha pour porter la teneur à 5 ppm ce qui nous indique une fois de plus l'importance du mode d'incorporation au sol.

Les feuilles de chou-fleur atteignent aussi des teneurs de 14 ppm en molybdène après apport en couverture de 2 kg/ha de molybdate de sodium.

2) Travaux I.N.R.A. - C.R.Z.V. Theix

L'apport obligatoire de molybdate sur des luzernes carencées en molybdène pose le problème du risque d'un enrichissement trop important de ce fourrage pour l'animal. Ce danger est connu des Soviétiques qui ne font pas d'apport au sol mais traitent les semences.

Cette technique a fait l'objet d'une expérimentation à Theix (malheureusement sur un sol qui n'induit pas de carence végétale). Les semences (22 kg/ha) ont été imprégnées de 50 g. Mo (sous forme de molybdate d'ammonium) dissous dans la quantité d'eau nécessaire à l'ensemencement au rhizobium, et séchées à l'air avant semis. Le premier cycle de 1974, année de semis, contenait 0,95 mg Mo/kg MS contre 0,21 dans le témoin. En pulvérisation foliaire deux semaines avant la récolte (et en pleine période de pluie), les doses de 25 et 75 g Mo/ha ont fait passer les teneurs de la luzerne respectivement à 1,8 et 2 ppm.

Le traitement des semences paraît donc moins risqué qu'un apport foliaire. Toutefois son efficacité sur le végétal lui-même reste à tester en sol carencé.

VII LE SELENIUM

(Melle MORE E., I.N.R.A. Quimper)

Les premiers résultats analytiques indiquent que la plupart des teneurs en sélénium de ray-grass et de maïs récoltés dans le Finistère seraient comprises entre 0,03 et 0,1 ppm Se.

TAB. VII Enrichissement en molybdène du Ray-Grass et du chou-fleur

Apport de molybdate de sodium avant semis ou plantation Teneurs en mg de Mo / matière sèche					
	Ray-Grass d'Italie - Stade pâture				Chou-fleur
Molybdate de sodium	1ère coupe mai-juin	2ème coupe juin-juillet	3ème coupe août	4ème coupe octobre	Feuilles
Couverture	$\frac{1,1}{1}$	$\frac{2,0}{1}$	$\frac{2,95}{1}$	$\frac{3,90}{1}$	$\frac{3,2}{1}$
Témoin Labour	$\frac{0,9}{1}$	$\frac{1,0}{1}$	$\frac{1,45}{1}$	$\frac{1,05}{1}$	$\frac{1,4}{1}$
Couverture	$\frac{5,0}{4,5}$	$\frac{12,8}{6,4}$	$\frac{12,6}{4,3}$	$\frac{16,8}{4,3}$	$\frac{14}{4,4}$
2 kg/ha Labour	$\frac{1,65}{1,8}$	$\frac{2,2}{2,2}$	$\frac{2,65}{1,8}$	$\frac{2,25}{2,1}$	$\frac{4}{2,8}$
Couverture	$\frac{9,2}{8,4}$	$\frac{26,4}{13}$	$\frac{18,6}{6,3}$	$\frac{28,3}{7,2}$	
4 kg/ha Labour	$\frac{2,95}{3,3}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{4,45}{3,1}$	$\frac{3,8}{3,6}$	
Couverture	$\frac{18,7}{17}$	$\frac{56,2}{28,2}$	$\frac{41,6}{14,1}$	$\frac{62,8}{16,1}$	$\frac{63}{19,7}$
8 kg/ha Labour	$\frac{3,8}{4,2}$	$\frac{5,0}{5,0}$	$\frac{6,4}{4,4}$	$\frac{5,4}{5,1}$	$\frac{2,2}{14,2}$

Une expérience conduite en pots a montré que l'équivalent de 12 kg/ha de sélénite de sodium, mélangé intimement à la terre, élève la teneur en sélénium de la première récolte de ray-grass au stade pâture jusqu'à 4,5 ppm, soit une teneur toxique pour les animaux. Cette teneur tombe à 2 ppm à la deuxième récolte. Des essais sont poursuivis dans le but d'étudier le passage dans les plantes fourragères du sélénium incorporé au sol.

A l'étranger, les engrais sélénifiés ne sont d'ailleurs qu'exceptionnellement employés, même dans les régions à myopathie : les risques d'atteindre les teneurs toxiques pour l'animal sont trop importants. Pour cet oligoélément, l'intervention au niveau de l'animal est, de loin, préférable dans l'état actuel des connaissances (l'antagonisme sélénium-soufre serait à étudier).

VIII CONCLUSIONS

Dans la méthode d'apport d'oligoéléments au sol, le mode d'incorporation dans le sol est très important puisqu'il conditionne les concentrations salines dans l'ensemble ou dans certaines parties seulement de la couche arable. L'efficacité minimum d'un apport d'oligoélément sur l'accroissement de la teneur du végétal en cet oligoélément correspond bien à l'enfouissement par labour, l'efficacité maximum, à l'apport (à sec ou en solution) sur la prairie déjà implantée. Ce dernier mode revient à réaliser une forte concentration dans les premiers centimètres du sol ainsi qu'une pulvérisation foliaire très concentrée sur les organes aériens présents et notamment sur les souches de graminées. Dans ces conditions, les divers oligoéléments n'ont pas exactement la même efficacité : il s'avère beaucoup plus facile d'enrichir les plantes en cobalt qu'en zinc et surtout en cuivre. Le niveau atteint dépend du stade d'exploitation.

— **Graminées au stade pâture** — Il est possible d'enrichir une graminée en cuivre, zinc et cobalt jusqu'au delà du seuil de carence fixé pour les bovins en apportant, **sur la prairie déjà en place**, au début de la période de végétation une certaine dose d'un tel oligoélément. Cet enrichissement est valable pour les divers pâturages de la première année ainsi que de l'année suivante mais son coût est élevé pour le cuivre dans le cas des sols riches en matière organique du Finistère (tableau VIII).

Pour les espèces précoces et les récoltes au stade déprimage il y a danger de toxicité du cuivre pour les ovins car la teneur risque d'être exagérée dans ces conditions.

TABLEAU VIII Conclusions pratiques et provisoires sur l'enrichissement en oligoéléments des plantes fourragères.

GRAMINEES AU STADE PATURE							
	1) Apport sur la prairie en place				2) Pulvérisation foliaire		
	Teneurs moyennes	Teneurs exigées	Quantité/ha selon les sols		Prix du produit	Quantité/ha	Prix du produit
Cuivre	6 ppm	8 - 10 ppm	CuSO ₄	120 kg	600 F.	CuSO ₄	0,5 kg 2,50 F.
Zinc	30 ppm	40 - 50 ppm	CuSO ₄	25 kg	125 F.	ZnSO ₄	2 kg 4,0 F.
			ZnSO ₄	50 kg	100 F.		
			ZnSO ₄	25 kg	50 F.		
Cobalt	0,05 ppm	0,08 - 0,10 ppm	CoSO ₄	2 kg	80 F.	CoSO ₄	10 g. 0,40 F.
GRAMINEES AU STADE EPIAISON							
Cuivre	4 ppm	8 - 10 ppm	CuSO ₄	25 kg expérimentation insuffisante		200 g. Cu sous forme oxyde	
Zinc	25 ppm	40 - 50 ppm	expérimentation insuffisante			expérimentation insuffisante	
Cobalt	0,03 ppm	0,08 - 0,10 ppm	expérimentation insuffisante mais paraît possible			expérimentation insuffisante mais paraît possible	
MAÏS PLANTE ENTIERE							
Cuivre	4,5 ppm	8 - 10 ppm	expérimentation insuffisante			aucune expérimentation	
Zinc	25 ppm	40 - 50 ppm	ZnSO ₄	500 kg	1 000 F.		
Cobalt	0,02 ppm	0,08 - 0,10 ppm	CoSO ₄	20 kg	800 F.		

Par pulvérisation foliaire on arrive aussi à un bon résultat pour les trois éléments avec des quantités de produit très inférieures et à condition de pulvériser 5 à 8 jours avant chaque passage d'animaux. Une période très pluvieuse pendant les trois jours qui suivent le traitement compromet le résultat si l'on utilise un sulfate, mais après une semaine la plus grande partie du cuivre a pénétré à l'intérieur de la feuille. Le coût du produit devient insignifiant, mais il faut y ajouter les multiples interventions nécessaires au cours de l'année.

— Graminées au stade fauche (début épiaison) — Les essais ont porté essentiellement sur le cuivre (I.N.R.A. Theix) et montrent que l'apport au sol de 25 kg/ha de sulfate de cuivre est insuffisant. Par pulvérisation foliaire on peut enrichir suffisamment la plante à condition d'utiliser des oxydes ou l'oxychlorure avec un mouillant. Pour le zinc nous n'avons pas de résultat mais pour le cobalt, étant donné la facilité de pénétration dans la plante, on peut espérer des résultats satisfaisants.

Une plante jeune s'enrichit toujours plus facilement qu'une plante âgée qui est déjà moins bien pourvue en l'élément considéré, mais il n'y a pas que la quantité totale de l'élément à prendre en considération et les recherches sur animaux pourraient nous révéler des différences importantes du coefficient de digestibilité suivant le stade physiologique de la plante fourragère.

— Maïs plante entière (stade ensilage) — Il est nécessaire d'enfouir des quantités très importantes de sels de zinc ou de cobalt aux façons superficielles précédant le semis pour amener cette plante aux teneurs indispensables aux bovins. Nous n'avons pas effectué d'essais avec le sulfate de cuivre mais l'accroissement de la teneur en cuivre du maïs est probablement très difficile.

Pour les oligoéléments susceptibles de devenir toxiques il est important de savoir que la dose de 2 kg/ha de molybdate de sodium épandue en couverture élève la teneur de quatre coupes successives de ray-grass italien au stade pâture bien au-dessus du seuil de toxicité.

BIBLIOGRAPHIE

M. COPPENET, 1970. Effet des sels de cuivre et de cobalt sur l'enrichissement des plantes fourragères en ces deux oligoéléments. C.R. Ac. Agr., **56**, 923-936.

M. COPPENET, E. MORE, L. LE CORRE, M. LE MAO, 1972. Variations de la teneur en cobalt des ray-grass - Etude de techniques d'enrichissement - Ann. Agron., **23**, (2), 165-196.

M. COPPENET, E. MORE, 1973. Sur les teneurs en zinc du ray-grass et du maïs. C.R. Ac. Agr., **59**, 487-496.

S. PERIGAUD, J. BELLANGER, M. LAMAND, 1972. Les oligoéléments dans les foin en France. Fourrages, **52**, 11-37.

S. PERIGAUD, J.C. TRESSOL, D. AMBOULOU, 1974. Enrichissement en cuivre des fourrages sur pied. C.R. Ac. Agr., **60**, (13), 1049-1071.

DISCUSSION

ANONYME — Avez-vous enregistré des différences de rendement en matière sèche ?

M. COPPENET — Non, car les essais ont été mis en place sur des sols non carencés en cuivre ou en zinc.

M. CHAMPEL — Les expériences faites dans le Finistère ont été conduites sur sol acide et cela explique peut-être la relative facilité d'enrichissement en cuivre et autres oligoéléments. En sol calcaire n'aurait-on pas eu plus de difficultés pour arriver à ce résultat ?

M. COPPENET — Si ! En sols calcaires, des expériences ont montré, pour le cobalt, que les résultats sont moins satisfaisants.

M. BRICOUT — Il semble qu'on ait des enrichissements sur maïs dans la mesure où les traitements sont faits sous forme oxyde et au stade de la 8^e feuille.



INFLUENCE DE LA DOSE ET DE LA FORME D'AZOTE SUR LES TENEURS EN CUIVRE DE DIFFERENTES GRAMINEES FOURRAGERES

Denise BLANC - Christiane OTTO

I.N.R.A.

Station d'Agronomie et de Physiologie Végétale
45, Boulevard du Cap, B.P. 78
06602 - ANTIBES

I INTRODUCTION

L'influence de la fertilisation azotée sur la teneur en oligo-éléments des fourrages a fait l'objet de nombreux travaux dont les résultats souvent contradictoires ont été présentés dans une récente mise au point de S. PERIGAUD (1). La diversité des résultats obtenus d'une expérience à l'autre peut s'expliquer, partiellement au moins, par le fait que les essais au champ concernent des types de sols différents, renfermant des oligo-éléments assimilables en quantités variables. Par ailleurs, la nature même de l'engrais azoté peut modifier indirectement dans un sens ou dans l'autre l'assimilabilité de ces mêmes oligo-éléments par son action sur la réaction du sol. En 1969, dans une revue bibliographique sur la valeur nutritive des cultures fourragères, RAYMOND (2) soulignait, en ce qui concerne le cuivre, l'extrême variabilité de la teneur en cet élément du Ray-grass pérenne en fonction de l'état du cuivre dans le sol, du pH de celui-ci et de l'application des engrais. On peut constater, d'une façon générale, que les résultats obtenus dans ce domaine au cours d'essais sur sol sont en définitive la résultante de l'action indirecte de la fumure azotée sur l'assimilabilité des oligo-éléments du sol, et de l'action directe de cette même fumure sur l'absorption de l'oligo-élément par la plante.

Afin de dissocier ces deux actions et d'analyser le comportement propre de la plante vis-à-vis du cuivre, en fonction de la quantité d'azote mise à sa disposition, nous avons entrepris une série d'essais de culture sans sol, les plantes ont été alimentées par des solutions nutritives de composition parfaitement connue et caractérisées par des doses et des formes variables d'azote en présence de doses constantes ou variables de cuivre. La totalité du cuivre présent dans le milieu, dans ces conditions, est disponible pour la plante. La quantité absorbée est déterminée par l'analyse du matériel végétal récolté. Les essais ont été conduits sur différents clones de graminées fourragères, régulièrement fauchés. Les observations ont porté essentiellement sur les rendements et la teneur en cuivre du végétal récolté, et nous présentons aujourd'hui la synthèse des résultats obtenus au cours des différents essais, quant au comportement comparé de différents clones à l'égard du cuivre, aux variations dans le temps de la teneur en cuivre de la récolte, et à l'influence du taux et de la forme d'azote sur cette même teneur en cuivre.

II COMPORTEMENT COMPARE DE DIFFERENTS CLONES.

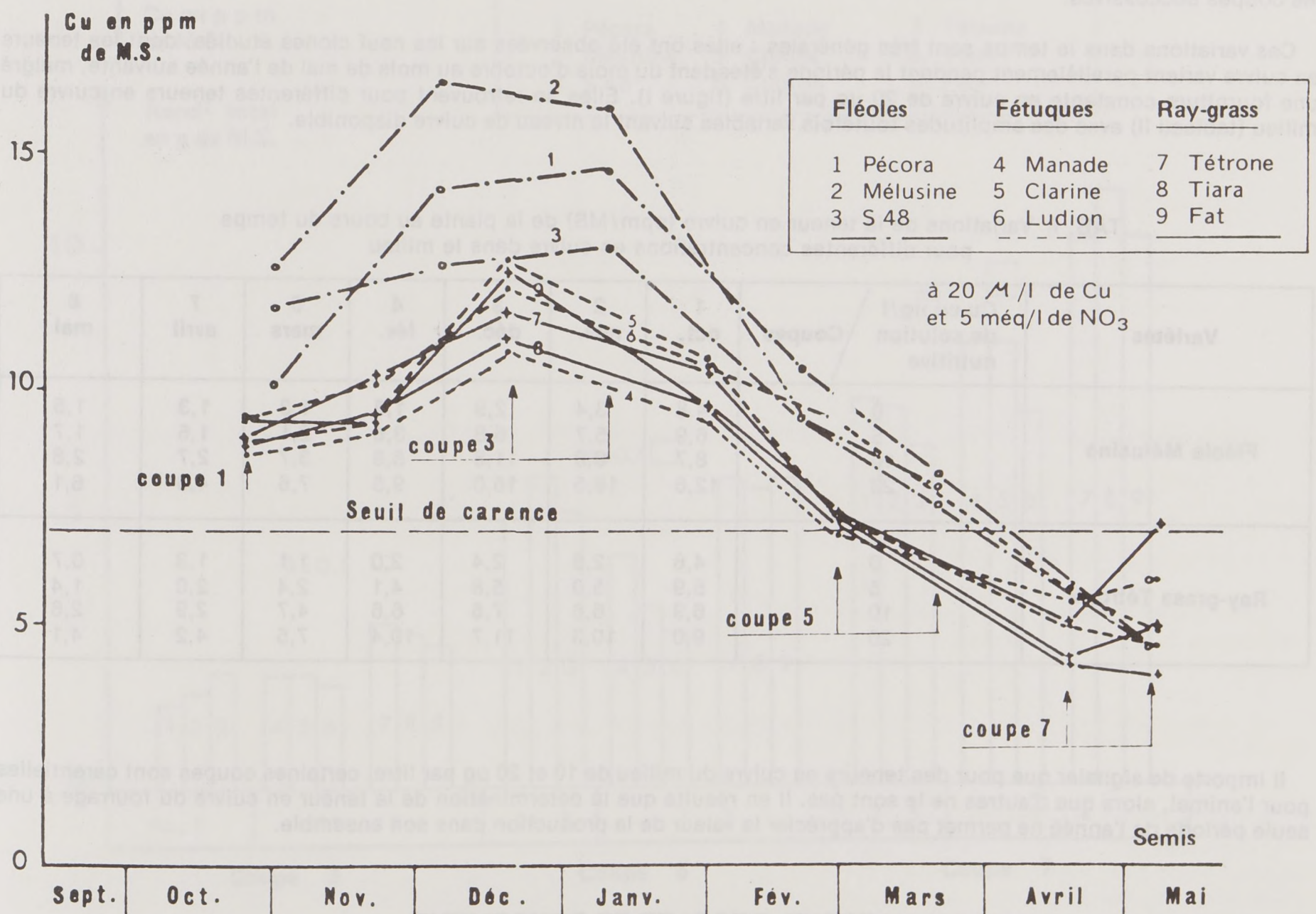
Une étude comparative du comportement variétal conduite sur une gamme de neuf clones de graminées fourragères :

- . trois variétés de Fléole : Pécora, Mélusine, S.48
- . trois variétés de Ray-Grass : Tétrone, Tiara, Fat
- . trois variétés de Fétuque élevée : Manade, Clarine, Ludion,

nous a permis d'observer un comportement particulier des fléoles en début de culture.

La figure I qui présente les résultats obtenus sur un milieu nutritif renfermant 20 μg de cuivre par litre de solution nutritive, met en évidence la plus grande richesse en cuivre des fléoles au cours des cinq premières coupes, les teneurs en cuivre des Ray-grass et des Fétuques élevées n'étant pas significativement différentes entre elles au niveau de chacune des coupes.

Fig. I - Variations dans le temps des teneurs en cuivre de différents clones de graminées fourragères.



Cette teneur plus élevée en cuivre des Fléoles en début de culture pourrait trouver son explication dans la plus grande richesse des graines de Fléone, le clone présentant la teneur la plus élevée en cours de culture étant précisément la Fléole Mélusine, dont les graines sont les plus riches en cet élément (tableau I).

TAB. I Teneur en cuivre (ppm/MS) des graines des différents clones étudiés

Fléole		Ray-Grass		Fétuque élevée	
Pécora	6,0	Tétrone	3,6	Manade	4,0
Mélusine	8,1	Tiara	4,2	Clarine	4,3
S.48	6,9	Fat	3,7	Ludion	4,1

Il en résulte que pour le traitement à 20 µg de cuivre par litre de solution nutritive, le seuil de carence est atteint plus rapidement chez les Ray-grass et les Fétuques que chez les Fléoles. Cette différence de comportement n'apparaît plus au-delà de la sixième coupe.

III VARIATIONS DANS LE TEMPS DE LA TENEUR EN CUIVRE DES RECOLTES.

Les différences observées entre les clones sont de toute façon inférieures aux différences observées dans le temps, sur les coupes successives.

Ces variations dans le temps sont très générales : elles ont été observées sur les neuf clones étudiés, dont les teneurs en cuivre varient parallèlement pendant la période s'étendant du mois d'octobre au mois de mai de l'année suivante, malgré une fourniture constante en cuivre de 20 µg par litre (figure I). Elles se retrouvent pour différentes teneurs en cuivre du milieu (tableau II) avec des amplitudes toutefois variables suivant le niveau de cuivre disponible.

TAB. II Variations de la teneur en cuivre (ppm/MS) de la plante au cours du temps pour différentes concentrations en cuivre dans le milieu

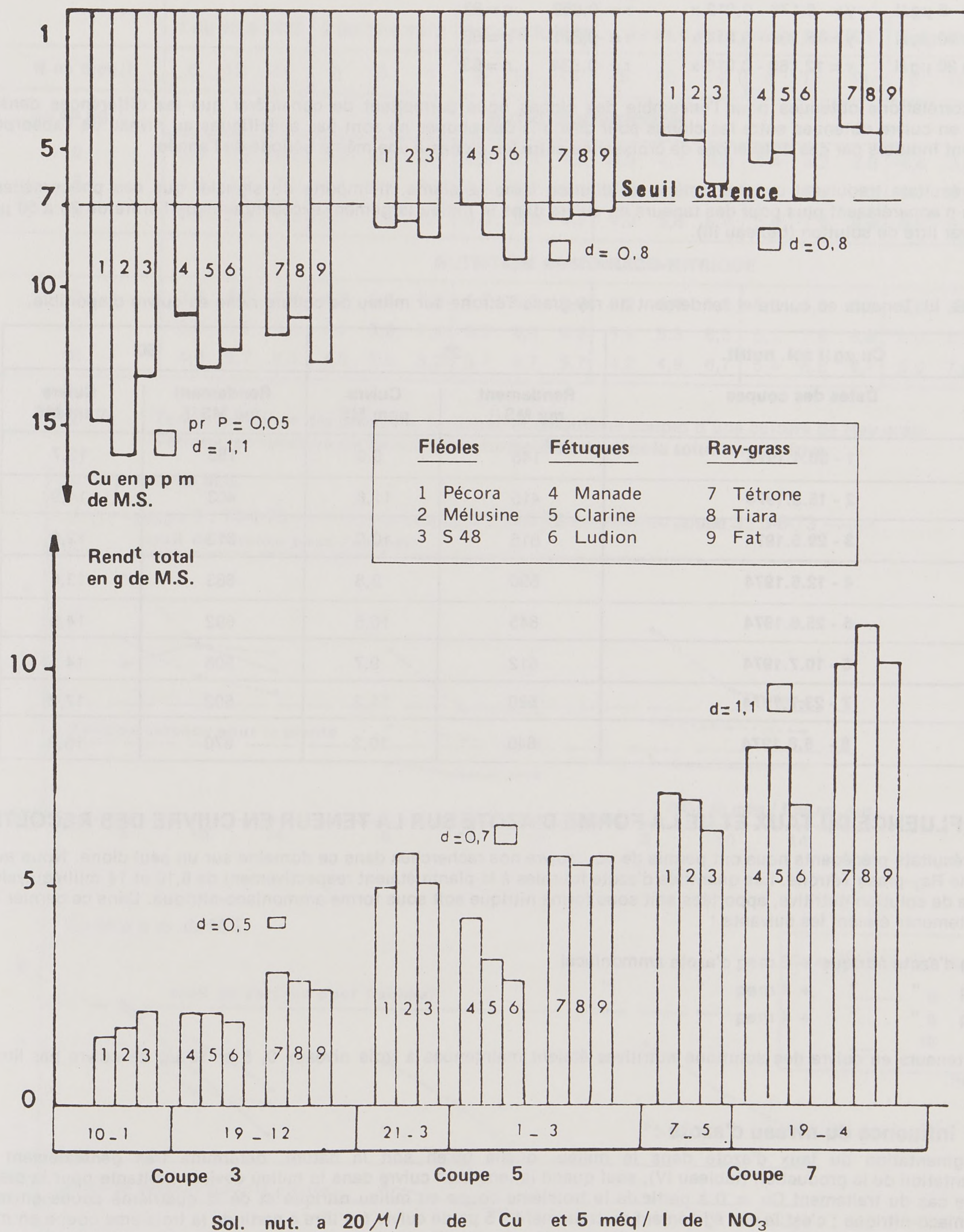
Variétés	Cu en µg/l de solution nutritive	Coupes	1 oct.	2 nov.	3 déc.	4 fév.	5 mars	7 avril	8 mai
Fléole Mélusine	0		4,8	3,4	2,9	1,3	1,3	1,3	1,5
	5		6,9	5,7	6,8	3,6	2,1	1,6	1,7
	10		8,7	9,8	11,8	5,6	3,7	2,7	2,8
	20		12,6	16,5	16,0	9,5	7,6	4,6	6,1
Ray-grass Tétrone	0		4,6	2,8	2,4	2,0	1,1	1,3	0,7
	5		5,9	5,0	5,8	4,1	2,4	2,0	1,4
	10		6,9	6,6	7,6	6,6	4,7	2,9	2,6
	20		9,0	10,3	11,7	10,4	7,5	4,2	4,1

Il importe de signaler que pour des teneurs en cuivre du milieu de 10 et 20 µg par litre, certaines coupes sont carencielles pour l'animal, alors que d'autres ne le sont pas. Il en résulte que la détermination de la teneur en cuivre du fourrage à une seule période de l'année ne permet pas d'apprécier la valeur de la production dans son ensemble.

IV TENEUR EN CUIVRE DU MATERIEL RECOLTE ET RENDEMENT.

L'examen de la figure II qui regroupe pour les troisième, cinquième et septième coupes des différents clones les rendements en matière sèche et les teneurs en cuivre du matériel récolté, fait apparaître, globalement, une diminution de la teneur en cuivre quand le rendement augmente (fig. II).

Fig. II - Teneurs en cuivre et rendements en matière sèche de neuf clones de graminées fourragères pour trois coupes différentes.



L'analyse de l'ensemble des résultats obtenus pour les neuf clones et pour sept coupes successives, nous a permis de mettre en évidence, pour chacun des quatre niveaux de cuivre expérimentés, une corrélation négative entre l'accroissement pondéral journalier x et la teneur en cuivre du matériel végétal y :

pour Cu 0 µg/l	y = 3,580 - 0,011 x	r = -0,625	n = 63
Cu 5 µg/l	y = 6,176 - 0,012 x	r = -0,859	n = 63
Cu 10 µg/l	y = 8,236 - 0,014 x	r = -0,871	n = 63
Cu 20 µg/l	y = 12,160 - 0,018 x	r = -0,834	n = 63

Les corrélations obtenues pour l'ensemble des clones nous permettent de considérer que les différences dans les teneurs en cuivre obtenues entre les clones pour chacune des coupes ne sont pas spécifiques au niveau de l'absorption, mais sont induites par des différences de croissance entre les clones à une même période de l'année.

Ces résultats traduisent un phénomène de dilution dans la plante. Il importe de signaler que ces phénomènes de dilution n'apparaissent plus pour des teneurs en cuivre dans le milieu largement excédentaires de l'ordre de 25 à 50 µg de cuivre par litre de solution (tableau III).

TAB. III Teneurs en cuivre et rendement du ray-grass Tétrone sur milieu de culture riche en cuivre disponible.

Cu µg/l sol. nutrit.	25		50	
Dates des coupes	Rendement mg MS/j	Cuivre ppm MS	Rendement mg MS/j	Cuivre ppm MS
1 - 30.4.1974	148	9,9	153	12,7
2 - 15.5.1974	415	11,8	403	14,9
3 - 29.5.1974	615	10,0	613	12,6
4 - 12.6.1974	690	9,8	683	13,0
5 - 25.6.1974	645	10,5	692	14,5
6 - 10.7.1974	612	9,7	606	14.1
7 - 23.7.1974	580	11,2	602	17,2
8 - 6.8.1974	645	10,2	670	16,5

V INFLUENCE DU TAUX ET DE LA FORME D'AZOTE SUR LA TENEUR EN CUIVRE DES RECOLTES.

Les résultats précédents nous ont permis de poursuivre nos recherches dans ce domaine sur un seul clone. Nous avons retenu le Ray-grass Tétrone. Les quantités d'azote fournies à la plante étaient respectivement de 6,10 et 14 milliéquivalents par litre de solution nutritive, apportées soit sous forme nitrique soit sous forme ammoniac-nitrique. Dans ce dernier cas, les traitements étaient les suivants :

4 meq d'azote nitrique	+	2 meq d'azote ammoniacal	
6 meq	"	"	+ 4 meq "
10 meq	"	"	+ 4 meq "

Les teneurs en cuivre des solutions nutritives étaient maintenues à trois niveaux 0, 5 et 10 µg de cuivre par litre de solution.

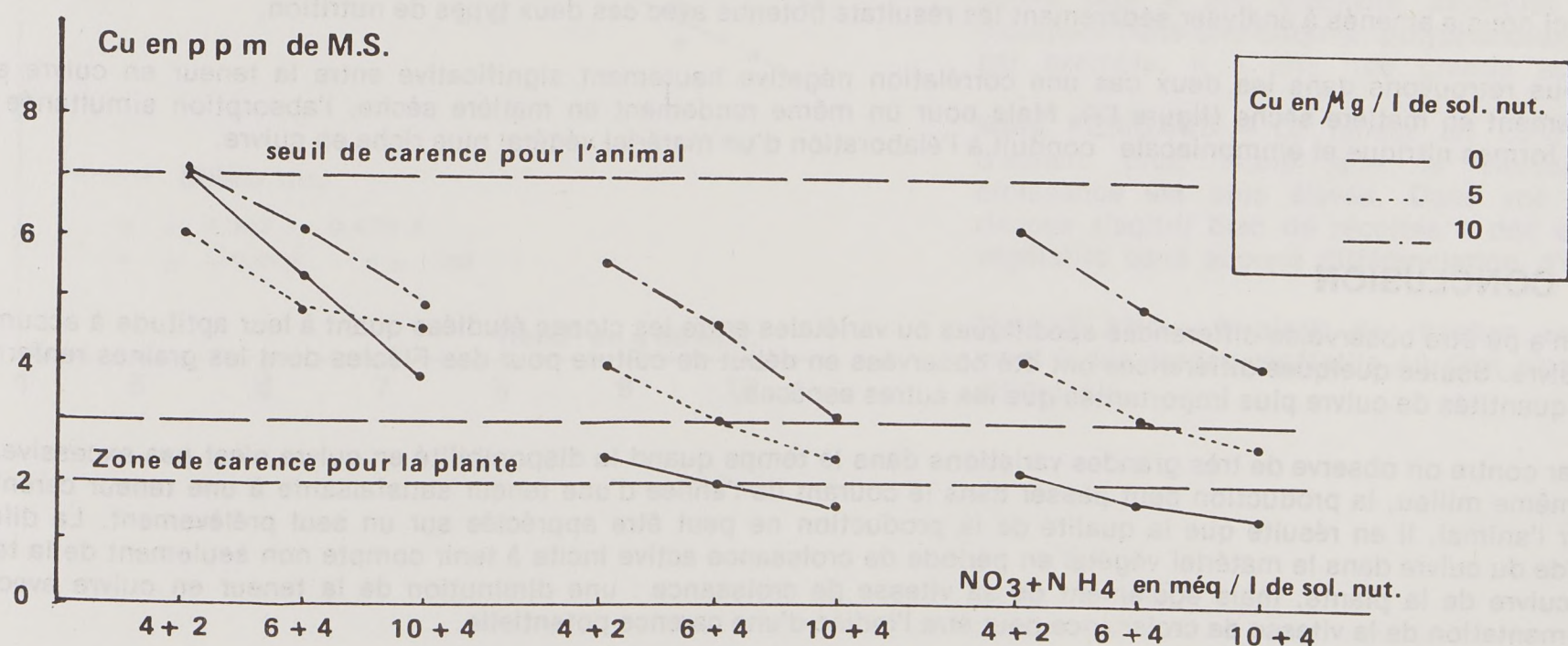
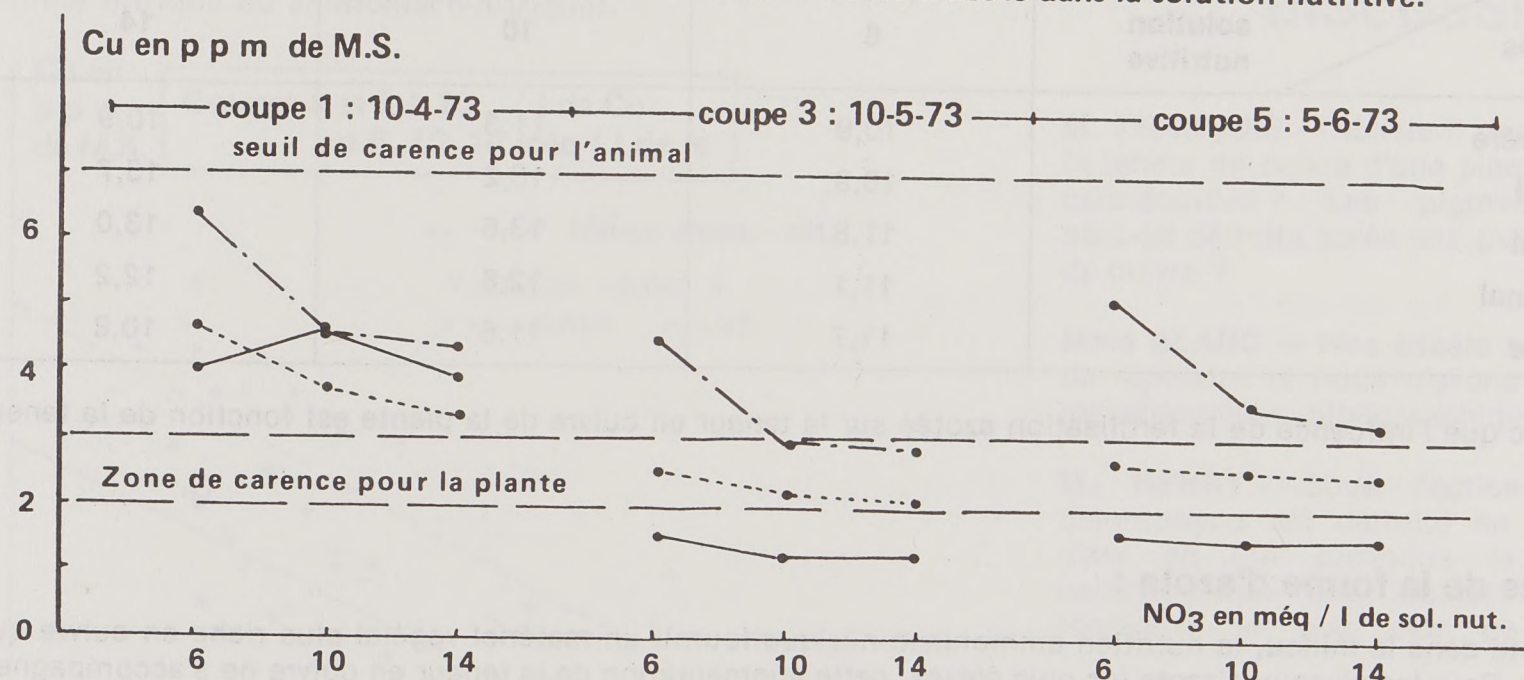
1 / Influence du niveau d'azote :

L'augmentation du taux d'azote dans le milieu, quelle qu'en soit la nature, détermine très généralement une augmentation de la production (tableau IV), sauf quand la teneur en cuivre dans le milieu devient limitante pour la plante : c'est le cas du traitement Cu = 0 à partir de la troisième coupe en milieu nitrique et de la quatrième coupe en milieu ammoniac-nitrique ; c'est le cas également du traitement à 5 µg de cuivre par litre à partir de la troisième coupe en milieu nitrique exclusivement. Deux faits méritent d'être soulignés : le rôle joué par le cuivre présent dans la graine qui assure une production normale en l'absence de cuivre dans le milieu pendant les premières coupes, la manifestation de la carence en cuivre plus rapide et plus importante en milieu nitrique qu'en milieu ammoniac-nitrique.

TAB. IV Influence du taux d'azote dans le milieu sur les rendements (g MS/pot) pour différents niveaux de cuivre dans le milieu

	COUPES																	
	1 du 10.4.1973			2 du 25.4.1973			3 du 10.5.1973			4 du 23.5.1973			5 du 6.6.1973			6 du 20.6.1973		
N en meq/l	6	10	14	6	10	14	6	10	14	6	10	14	6	10	14	6	10	14
NUTRITION NITRIQUE																		
Cu en µg/l																		
0	3,9	5,7	6,7	5,1	6,7	7,4	6,2	7,3	7,2	3,9	4,3	3,5	4,4	4,2	3,6	4,6	3,6	3,5
5	4,9	3,9	7,0	6,1	6,4	7,6	6,4	9,0	9,1	4,3	6,3	5,7	5,7	7,9	7,2	6,7	8,7	7,6
10	3,9	5,9	7,0	5,1	7,2	8,1	6,0	8,5	9,7	4,0	5,8	6,4	5,4	7,5	8,4	6,5	8,3	8,2
NUTRITION AMMONIACO-NITRIQUE																		
0	3,7	5,5	7,0	4,3	5,7	7,8	5,7	6,7	8,6	4,2	4,4	5,2	5,8	5,2	6,9	6,6	5,4	6,0
5	3,8	5,6	6,6	4,1	5,8	7,4	5,5	6,8	9,3	3,9	5,3	6,5	5,1	7,6	8,9	6,0	8,6	9,0
10	4,0	5,7	7,1	4,5	5,6	8,2	5,7	6,7	9,7	4,2	4,9	6,7	5,4	6,8	9,1	6,0	7,6	9,2

Fig. III - Teneur en cuivre des première, troisième et cinquième coupes d'une culture de Ray-grass Tétrone, en fonction du taux et de la forme d'azote dans la solution nutritive.



La détermination des teneurs en cuivre du matériel végétal récolté en première, troisième et cinquième coupe (figure III) a mis en évidence :

- Une influence positive de la teneur en cuivre disponible dans le milieu sur la teneur en cuivre de la plante, cette influence étant relativement faible au niveau de la première coupe.
- Une diminution quasi générale de la teneur en cuivre de la plante quand la teneur en azote du milieu augmente.

L'augmentation du rendement en matière sèche et la diminution concomitante de la teneur en cuivre du matériel récolté, quand le niveau de la fertilisation azotée augmente, corroborent l'hypothèse d'une dilution du cuivre à l'intérieur de la plante pour les doses de cuivre expérimentées.

2 / Influence du niveau de cuivre :

Pour des teneurs en cuivre du milieu suffisamment élevées, de l'ordre de 25 et 50 μg par litre, on n'observe plus de phénomène de dilution. Dans ce cas l'augmentation de la fertilisation azotée s'accompagne d'une légère augmentation de la teneur en cuivre de la plante (tableau V).

TAB.V Variation des teneurs en cuivre (ppm/MS) de différents clones de graminées fourragères en fonction du niveau d'azote de la solution nutritive pour une teneur en cuivre du milieu de 50 $\mu\text{g/l}$.

Variétés \ N en meq/l de solution nutritive	6	10	14
Primevère	10,9	11,3	10,9
Floréal	10,9	13,2	13,7
Prairial	11,8	13,6	13,0
Germinal	11,1	12,8	12,2
Naïade	11,7	11,6	10,8

Il apparaît donc que l'influence de la fertilisation azotée sur la teneur en cuivre de la plante est fonction de la teneur en cuivre du milieu.

3 / Influence de la forme d'azote :

A égalité d'azote dans le milieu, la nutrition ammoniac-nitrique fournit un matériel végétal plus riche en cuivre que la nutrition nitrique. Pour les niveaux d'azote les plus élevés, cette augmentation de la teneur en cuivre ne s'accompagne pas systématiquement d'une diminution de la production.

Ceci nous a amenés à analyser séparément les résultats obtenus avec ces deux types de nutrition.

Nous retrouvons dans les deux cas une corrélation négative hautement significative entre la teneur en cuivre et le rendement en matière sèche (figure IV). Mais pour un même rendement en matière sèche, l'absorption simultanée des deux formes nitrique et ammoniacale conduit à l'élaboration d'un matériel végétal plus riche en cuivre.

VI CONCLUSION

Il n'a pu être observé de différences spécifiques ou variétales entre les clones étudiées quant à leur aptitude à accumuler le cuivre. Seules quelques différences ont été observées en début de culture pour des Fléoles dont les graines renferment des quantités de cuivre plus importantes que les autres espèces.

Par contre on observe de très grandes variations dans le temps quand la disponibilité en cuivre n'est pas excessive. Sur un même milieu, la production peut passer dans le courant de l'année d'une teneur satisfaisante à une teneur carencielle pour l'animal. Il en résulte que la qualité de la production ne peut être appréciée sur un seul prélèvement. La dilution rapide du cuivre dans le matériel végétal en période de croissance active incite à tenir compte non seulement de la teneur en cuivre de la plante, mais également de sa vitesse de croissance : une diminution de la teneur en cuivre avec une augmentation de la vitesse de croissance peut être l'indice d'une carence potentielle.

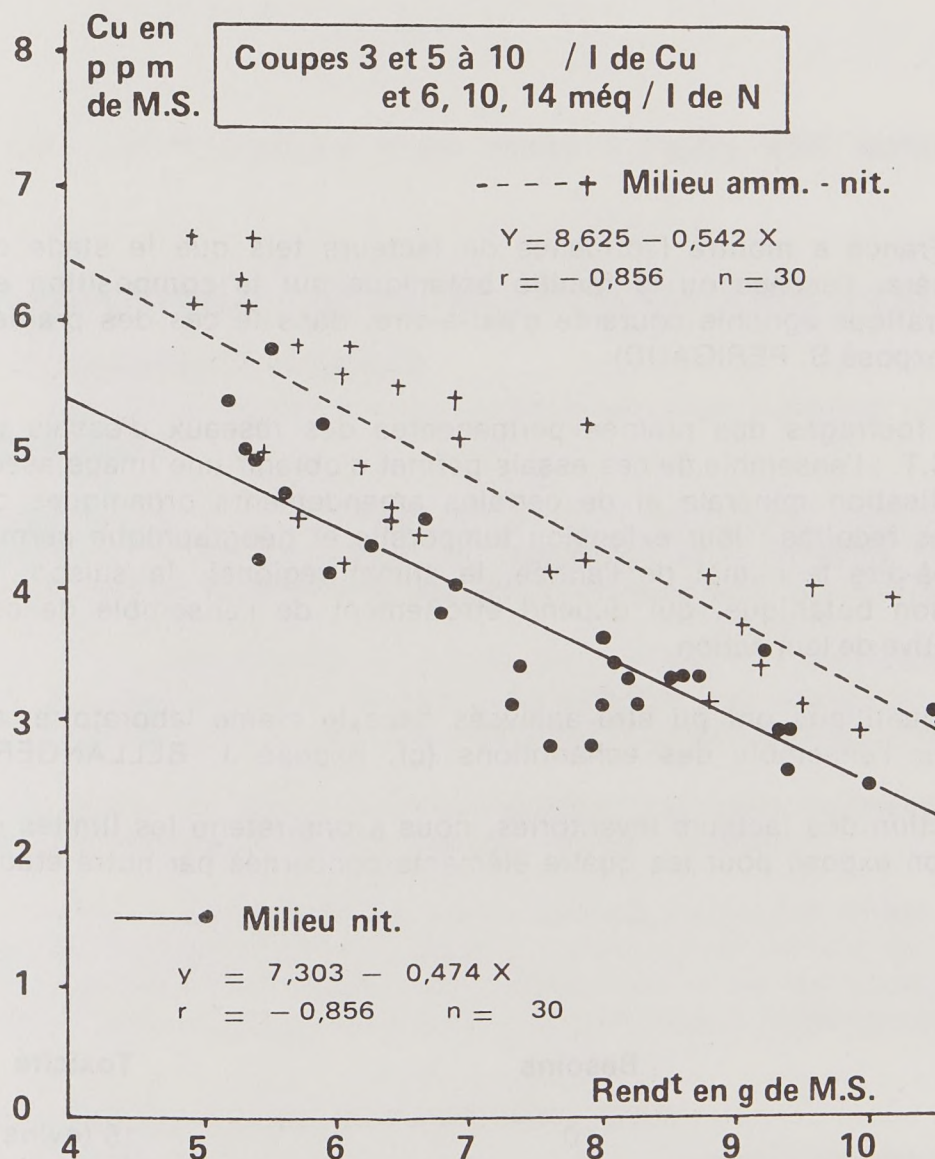
L'influence de l'apport d'azote sur la teneur en cuivre du fourrage est fonction de la disponibilité en cuivre du milieu. Indépendamment de toute action sur le sol, une intensification de la fertilisation azotée n'entraîne une augmentation de la teneur en cuivre du fourrage que si la disponibilité en cuivre du milieu est largement excédentaire. Dans les autres cas, elle conduit à une dilution du cuivre dans les tissus. Des apports complémentaires de cuivre sont alors à envisager, plus précisément en période de croissance active. L'enrichissement en cuivre du matériel végétal, consécutif à l'absorption simultanée des deux formes, devrait par ailleurs faire préférer une fertilisation ammoniac-nitrique à une fertilisation nitrique exclusive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

PERIGAUD S., 1974. Oligoéléments et qualité des fourrages : influence de la fumure minérale. Fourrages, n°57, 43-60.

RAYMOND W.F., 1969. The nutritive value of forage crops. Adv. in Agronomy, 21, 1-108.

Fig. IV - Corrélation entre la teneur en cuivre et le rendement en matière sèche chez le Ray-grass Tétrone (deux coupes, trois niveaux d'azote, sous forme nitrique ou ammoniac-nitrique).



DISCUSSION

M. FRANÇOIS — Existe-il une corrélation entre la teneur en cuivre d'une plante et la teneur en caroténoïdes ? Les pigments caroténoïdes sont-ils détruits après une pulvérisation de sels de cuivre ?

Mme BLANC — Nos essais ne permettent pas de répondre et nous n'avons rencontré aucun renseignement bibliographique sur ce point.

M. HENRY — Sous l'action du cuivre, la chlorophylle est détruite en phacophytine et c'est ce qui provoque le blanchissement caractéristique des feuilles. Pour les caroténoïdes, je n'ai pas de renseignement.

M. COÏC — Les destructions se font au niveau du blocage des activités enzymatiques. Le cuivre seul a peu d'activité oxydative mais incorporé dans une enzyme, polyphénoloxydase par exemple, il a une très grande activité.

Mme PERIGAUD — La teneur en cuivre est d'autant plus faible que la vitesse de croissance est plus élevée. Dans vos expériences s'agit-il bien de récoltes à des stades végétatifs sans aucune différenciation d'épis ?

Mme BLANC — Il s'agit de récoltes uniquement à des stades végétatifs où l'épi n'est pas différencié.

INFLUENCE DE QUELQUES FACTEURS NATURELS ET DES FACTEURS D'INTENSIFICATION SUR LA COMPOSITION EN OLIGO-ELEMENTS DES FOURRAGES DE PRAIRIE PERMANENTE

F. de MONTARD* et S. PERIGAUD**

* I.N.R.A. - Station d'Agronomie
12, avenue de l'Agriculture
63100 CLERMONT-FERRAND

** I.N.R.A. - Station de Physiopathologie de la Nutrition
C.R.Z.V. de Theix - 63100 BEAUMONT

I INTRODUCTION

Une enquête sur les carences en oligo-éléments en France a montré l'influence de facteurs tels que le stade de croissance des plantes, la saison, le sol et la roche-mère, l'espèce ou la famille botanique sur la composition en oligo-éléments des fourrages dans les conditions de la pratique agricole courante c'est-à-dire, dans le cas des prairies permanentes, avec un niveau de fertilisation modeste (cf. exposé S. PERIGAUD).

Dans la présente étude, nous examinons le cas des fourrages des prairies permanentes des réseaux d'essais de l'I.T.C.F. et de l'I.N.R.A. et de quelques essais de la S.N.S.T. ; l'ensemble de ces essais permet d'obtenir une image assez complète des effets du mode d'exploitation, de la fertilisation minérale et de certains amendements organiques ou minéraux sur les teneurs en oligo-éléments des fourrages récoltés ; leur extension temporelle et géographique permet aussi d'observer l'influence des facteurs naturels c'est-à-dire le climat de l'année, le climat régional, la saison, la roche-mère et le type pédologique. Enfin, la composition botanique, qui dépend étroitement de l'ensemble de ces facteurs, constitue un des éléments d'une approche explicative de leur action.

Grâce à la collaboration des expérimentateurs, les échantillons ont pu être analysés dans le même laboratoire, au C.R.Z.V. de Theix, selon les méthodes uniformes pour l'ensemble des échantillons (cf. exposé J. BELLANGER).

Pour souligner les conséquences zootechniques de l'action des facteurs inventoriés, nous avons retenu les limites de carence et de toxicité indiquées par M. LAMAND dans son exposé pour les quatre éléments concernés par notre étude, c'est-à-dire en mg par kg de M.S. :

	Limite de carence (1)	Besoins	Toxicité
Cuivre	7	10	15 (ovins) 100 (bovins)
Zinc	45	50	500
Manganèse	45	50	1 000
Molybdène	—	—	3

(1) limite en dessous de laquelle des troubles se manifestent ; les besoins sont supérieurs.

II INFLUENCE DES FACTEURS NATURELS

1 - Localité (tableaux I et II)

a) Cuivre

Aucune des teneurs observées ne couvre les besoins des animaux, mais on ne constate aucune carence aiguë. On confirme que les prairies sur sols granitiques ou sur sols bruns acides basaltiques sont parmi les moins bien pourvues.

b) Zinc

Les teneurs sont insuffisantes dans 13 des 17 localités étudiées. On confirme que les valeurs les plus basses sont observées plus sur sol brun calcique que sur sol acide.

c) Manganèse

Des teneurs très élevées sont relevées en sols acides. Les fourrages sont, dans l'ensemble, bien pourvus sauf dans un des cas étudiés (Alsace).

d) Molybdène

Des teneurs relativement élevées s'observent dans certaines localités sur les sol déjà signalés comme les plus riches (marnes du Bassigny, alluvions plus ou moins hydromorphes d'Alsace) ; des risques de toxicité temporaire peuvent être à craindre.

2 - Année (tableau I)

La durée des séquences, 2, 3 ou 4 années, est insuffisante pour apprécier complètement l'influence de ce facteur.

On constate toutefois des variations significatives pour les quatre éléments : en 4 sites sur 9 pour le cuivre

en 3 sites sur 9 pour le manganèse

en 2 sites sur 4 pour le molybdène

en 1 site sur 9 pour le zinc .

Ainsi les fluctuations d'une année à l'autre sont surtout accentuées pour le molybdène et le manganèse.

III INFLUENCE DES DATES ET CONDITIONS D'EXPLOITATION

1 - Influence de la saison

L'effet de la saison sur les teneurs en oligo-éléments n'est pas indépendant du climat, du sol, ou du mode d'exploitation.

A Laqueuille (Puy de Dôme) en sol acide sur basalte, dans une zone où les pluies sont assez abondantes en été, les teneurs en cuivre et en zinc des **repousses de 4 semaines** sont peu variables avec la saison ; celles en manganèse augmentent considérablement au fur et à mesure que la saison s'avance et que la croissance se ralentit (fig. I).

Au Pin au Haras (Orne), en sol alluvial à pH 6,5, en exploitation pâture (c'est-à-dire au rythme de la pousse), les teneurs en cuivre augmentent du printemps à l'automne ; les teneurs en zinc sont modestement accrues en automne ; les teneurs en manganèse et molybdène ne varient pas significativement (tableau IIIa).

En Alsace, sur des sols variés, la teneur des foins de première coupe en cuivre, manganèse et molybdène est moins élevée en moyenne que celle des regains (tableau IIIb).

D'autres indications dans le même sens pourraient être citées. En pratique les fourrages de fin d'été ou d'automne sont plus satisfaisants pour les besoins en cuivre que les foins et les pâtures de la première partie de la saison ; les teneurs en zinc sont peu sensibles à l'effet saisonnier et ne se trouvent donc pas substantiellement améliorées. La toxicité molybdique pourrait se manifester plus facilement à l'automne dans les localités où ce risque existe.

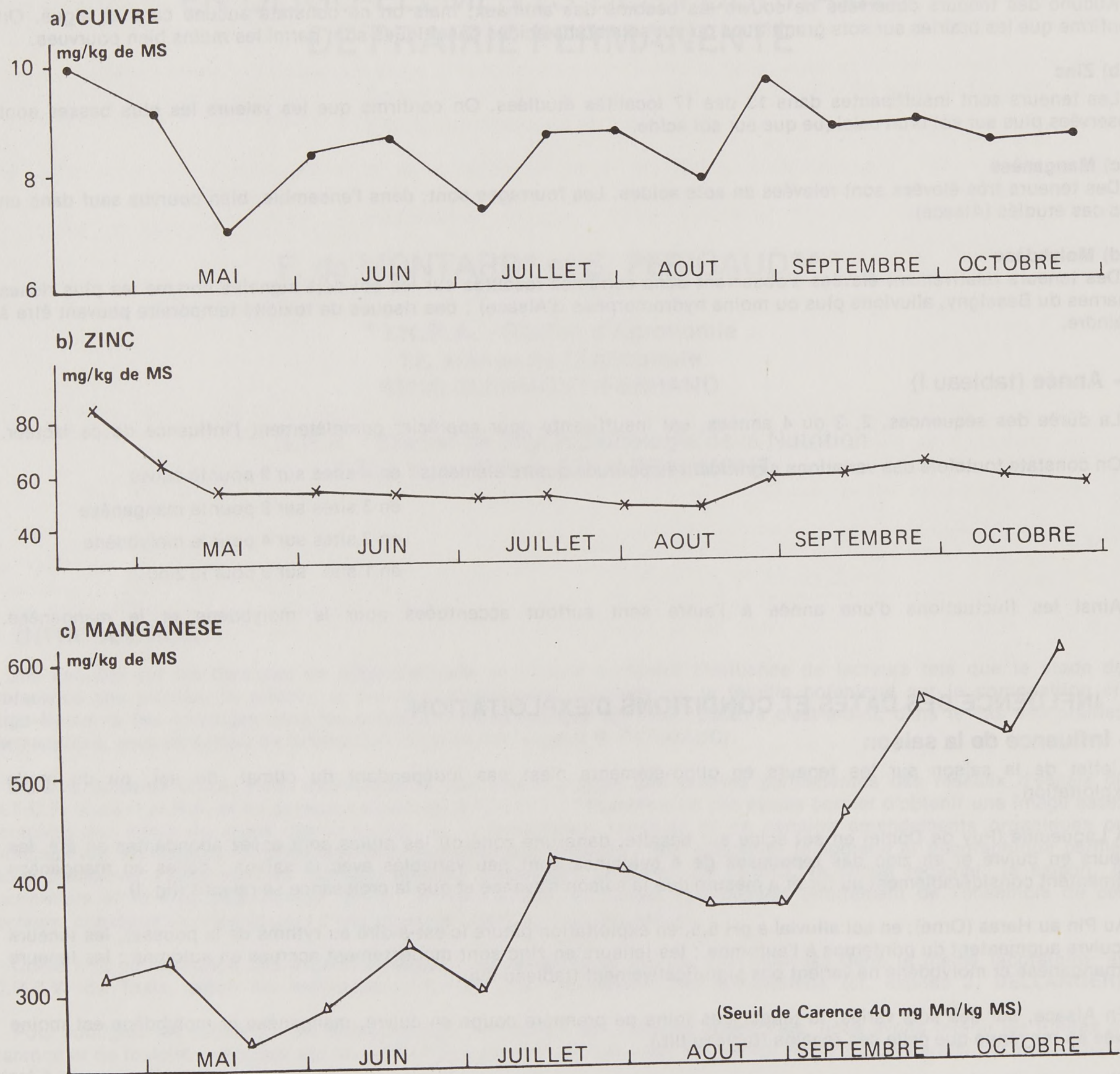
2 - Influence du stade en premier cycle

Les foins et les ensilages sont significativement plus pauvres en cuivre et en zinc que le fourrage au stade "pâture" (épis des graminées dominantes à 10 cm de hauteur dans la gaine). Pour le cuivre, l'ensilage est supérieur au foin. Par contre le stade influe peu sur les teneurs en manganèse et en molybdène (tableau IV).

3 - Influence de l'âge de la repousse

Au pâturage, la fréquence des passages n'est pas sans importance : le fourrage s'appauvrit progressivement en cuivre et zinc de la 2ème à la 6ème semaine après la coupe (tableau V).

Figure I - Composition minérale des repousses de 4 semaines.



Le premier point des 3 courbes concerne une repousse de 2 semaines.

Moyenne des teneurs de toutes les coupes par localité et par an								
		Concentrations en ppm / MS				pH du sol	Pluviométrie (1931 - 1960)	
		Cu	Zn	Mn	Mo		mm (mai à oct.)	(année)
LAQUEUILLE (Puy-de-Dôme) (INRA) Pâturage	1970	8,2	53	356	—	5,5	690	1 415
	1971	8,3	51	417	—			
Altitude 1 050 m	1972	5,2	44	—	—			
Fauche	1973	6,2	39	187	—			
Sol brun acide sur basalte, bien drainé								
MARCENAT (Cantal) (INRA)								
Altitude 1 050 m	1966	6,5	32	115	1,18	5,5		
Fauche	1967	7,0	34	143	0,88			
	1968	7,1	41	196	0,67			
Sol brun acide sur basalte, bien drainé								
BELLIAC (Cantal) Pâturage (1) (2)	1969	7,4	59	236	0,85	5,6	635	1 290
(ITCF)	1970	7,0	53	166	0,50			
Altitude 650 m						Sol brun / Alluvions basaltiques nappe à 0,60		
BALESMES (Hte-Marne) id. (2)	1970	8,4	31	176	1,36	6,6	459	926
(ITCF)	1971	8,8	33	177	0,61			
Altitude 400 m						Sol brun calcique / marnes, drainage lent nappe à 1,50 m		
Ste-REINE (Savoie) id. (2)	1970	8,5	43	96	0,39	6,9	455	924
(ITCF)	1971	7,0	38	90	—			
Altitude 780 m						Sol brun calcique / alluvions calcaires, drainage moyen		
St-PIERRE / ORTHE (Mayenne) id. (2)	1970	5,8	30	193	0,90	6,8	422	897
(ITCF)	1971	6,4	37	201	—			
Altitude 280 m						Sol brun / versant granitique profond et bien drainé		
PIN-AU-HARAS (Orne) Pâturage							345	724
(INRA) Coteau calcaire	1968	7,7	—	88	—	6,3 à 7,0		
	1969	7,3*	35	89	—			
	1970	7,3*	34	86	—			
	1971	6,8**	44	79	—			
Sol brun calcique / calcaire poreux - Station sèche bien drainée								
Alluvions jeunes	1968	7,0	—	99		6,0 à 6,5	345	724
	1969	6,4*	35	95				
	1970	6,5*	37	90				
	1971	5,9**	37	92				
Sol alluvial sablo-argileux à pseudo gley - drainage lent								
St-LAURENT-DE-LA-PREE (INRA) Charente-Maritime								
Fauche	1968	6,6	38	118	0,80	6,8	329	727
	1969	6,3	39	80	—			
Sol de "Bri Beige" - Sol salé argileux de polder récent								

(1) Précisément, moyenne des teneurs d'une douzaine de coupes dont 10 au stade pâture et 2 au stade ensilage ou foin.

(2) ppds 1% 0,7 15 21 0,45 5% 0,5 11 15 0,31

* : différence significative au seuil P = 0,05 ** : différence hautement significative au seuil P = 0,01

L'astérisque placé entre deux lignes ou entre deux colonnes concerne la différence entre 2 lignes ou 2 colonnes ;

L'astérisque placé immédiatement sur la ligne après un chiffre indique une différence significative entre ce chiffre et celui souligné sur la même ligne ou sur la même colonne.

(2) ppds 1% 0,7 15 21 0,45 5% 0,5 11 15 0,31

* : différence significative au seuil $P = 0,05$ ** : différence hautement significative au seuil $P = 0,01$

* : différence significative au seuil $P = 0,05$; ** : différence hautement significative au seuil $P = 0,01$;
l'astérisque placé entre deux lignes ou entre deux colonnes concerne la différence entre 2 lignes ou 2 colonnes ;

L'astérisque placé immédiatement sur la ligne après un chiffre indique une différence significative entre ce chiffre et celui souligné sur la même ligne ou sur la même colonne.

TABLEAU II - Influence des conditions pédologiques en Alsace sur les teneurs en oligo-éléments des fourrages (graminées)
Station d'Agronomie INRA COLMAR (1)

	Cu	Zn	Mn	Mo (2)	Origine du sol
BERNWILLIER (Sundgau) altitude 280 m pluv. = 850 mm	6,3	27	78	—	Limon loessique pH = 8,1
HOCHSTATT (Vallée de l'III) altitude 250 m pluv. = 850 mm	6,9	30	133	2,00	Alluvions fines non calcaires pH = 6,7
ILLHAÜSERN (Ried) altitude 170 m pluv. = 620 mm	7,7	28	33	1,95	Alluvions fines, sol hydromorphe pH = 6,8
LUTTENBACH (Munster) altitude 440 m pluv. = 960 mm	7,3	43	259	1,25	Arène granitique ph = 5,1
	6,8	52	559	1,17	Alluvions de la Fecht pH = 5,1
LAPOUTROIE altitude 600 m pluv. = 950 mm	7,4	55	773	0,48	Grès Vosgien pH = 5,1
MITTLACH altitude 520 m pluv. = 1500 mm	8,9	54	490	0,62	Alluvions vallée Vosgienne pH = 5,5
St-GILLES altitude 230 m pluv. = 670 mm	10,3	49	151	0,92	Alluvions granitiques pH = 5,7

(1) Prairies peu fertilisées (lisier et scories à doses modestes).
(2) Toutes teneurs en ppm/MS.

TAB. III - Variations saisonnières des teneurs en oligo-éléments. (mg/kg MS)

a) Rythme pâture (Pin-au-Haras - Orne) sol alluvial					
		Avril et Mai	Juin à Août		Sept. à Nov.
Cuivre		5,3	* *	6,4	* * 7,5
Zinc		33		35	* * 41
Manganèse		94		97	106 NS
Molybdène		0,44		0,48	0,57 NS

b) Rythme fauche (Alsace - 8 localités)					
		Foins	Regains		
Cuivre		8,1	* *	10,1	
Zinc		54		54	
Manganèse		203	* *	302	
Molybdène		0,78	*	1,62	

* Différence significative entre les deux chiffres qui encadrent
** Différence hautement significative

TAB. IV - Influence du stade de récolte sur la composition en oligo-éléments de la première récolte
(Moyennes de 5 essais ITCF, teneurs en mg / kg MS).

Stade	Pâture (Epi 10 cm)	Ensilage début épiaison	Foin pleine épiaison	
Cuivre	7,4	5,9	5,0	**
Zinc	48	36	34	**
Manganèse	149	148	141	NS
Molybdène	0,87	0,83	0,75	NS
* Différence significative entre les deux chiffres qui encadrent ** Différence hautement significative				

TAB. V - Influence de l'âge de la repousse au pâturage sur sa composition en oligo-éléments
(INRA - LAQUEUILLE - PUY de DOME. Alt. 1 000 m. 24 contrôles par chiffre)

Age de la repousse		2 semaines	4 semaines	6 semaines	
Cuivre	ppm / MS	8,7	8,3	7,7	*
Zinc	ppm / MS	55,3	52,0	49,1	**
Manganèse	ppm / MS	406	320	373	*
Molybdène	ppm / MS	0,62	0,53	0,52	NS
*, ** Voir explications en bas du tableau I					

TAB. VI - Influence du déprimage sur la composition en cuivre et en zinc des foin
(INRA - LAQUEUILLE - PUY de DOME).
Teneurs en mg / kg MS

	Cuivre		Zinc	
	Témoin	Déprimé	Témoin	Déprimé
7/7/1972	3,2	3,9	29	33
12/7/1972	4,0	4,7	34	32

TAB. VII - Influence du mode de récolte sur la composition des fourrages : pâturage direct ou zéro pâturage (depuis 1966)
Le Pin-Au-Haras - Orne - (sol alluvial)

PATURAGE	1969		1970		1969	1970
	Direct	Zéro PAT.	Direct	Zéro PAT.		
Cuivre ppm MS	6,2	6,6	6,6	6,4	NS	NS
Zinc	35,4	34,7	38,3	35,8	NS	NS
Manganèse	100	89	98	82	NS	NS
Molybdène	0,48	0,47	—	—	NS	—
NS non significatif. HS hautement significatif *, ** Voir explications en bas du tableau I.						

4 - Influence du déprimage

Une manière d'améliorer la valeur alimentaire des foin est de faire pâturer la prairie à la sortie de l'hiver avant même que les épis des graminées aient commencé la montaison. Ce "déprimage" améliore les teneurs en cuivre, quoique modestement (tableau VI).

5 - Influence du mode de récolte

Sur les sols proches de la neutralité du Pin au Haras, le mode d'exploitation de l'herbe, en pâturage réel avec retour des excréments, ou en zéro pâturage, ne modifie toujours pas, après cinq ans de traitements différenciés, la nutrition en cuivre, en zinc et en molybdène des fourrages. Par contre, l'effet cumulé des exportations sans restitution entraîne un fléchissement des teneurs en manganèse (tableau VII) par rapport à la pâture avec restitutions par les déjections animales.

Dans les sols à faibles disponibilités en manganèse, le mode d'exploitation de l'herbe peut donc faciliter l'expression des carences animales.

IV INFLUENCE DE LA FUMURE

1 - Fumure azotée

Les cinq essais de l'ITCF nous donnent neuf observations comparables (cinq sites et une ou deux années d'observations) pour l'étude de l'influence de la dose d'azote sur les teneurs en oligo-éléments. Les réponses diffèrent selon le site et selon l'élément considéré ; toutefois, pour le cuivre, le zinc et le molybdène, l'effet dépressif des plus fortes doses est fréquent (tableau VIII).

Les fumures azotées peuvent contribuer à aggraver les carences en cuivre et en zinc, mais à diminuer les risques de toxicité par le molybdène. Les teneurs en manganèse sont souvent améliorées.

Au Pin au Haras, en fond de vallée, où l'exploitation est de type pâture, dès que la repousse atteint 20 cm, la dilution du cuivre dans les fortes productions obtenues par l'azote n'est pas compensée par une plus grande fréquence de coupe, c'est-à-dire une herbe plus jeune (tableau IX).

Le cumul des fortes exportations sur plusieurs années aboutit à une baisse régulière des teneurs en cuivre au cours des ans, tandis qu'avec de faibles doses d'azote les variations de teneurs sont capricieuses (tableau X).

2 - Fumure phosphatée ou potassique

Dans la région où se situent les essais (Centre de la France), l'effet des fumures phosphatées sur les teneurs en cuivre est nul ou faible (tableau XI).

On note un fléchissement général des teneurs en manganèse avec l'apport de scories ; mais comme il s'agit de sols acides où le manganèse est largement disponible pour les plantes, cet effet dû au léger chaulage n'a aucune conséquence pour les animaux.

La méthode d'apport de phosphore, par 300 unités/ha pour trois ans ou par 100 unités/ha/an n'a aucune conséquence.

On n'observe pas d'effet significatif des fumures potassiques, ni des fumures phospho-potassiques, dans ces mêmes essais.

3 - Amendements

Le **fumier** n'a aucune action dans les essais de Marcenat. La **chaux**, par contre, avec 4 t/ha provoque, comme on pouvait s'y attendre, une augmentation des teneurs en molybdène, et une baisse du cuivre, zinc et manganèse (tableau XII).

Avec le **gypse**, à Saint Laurent de la Prée, on confirme, deux ou trois ans après l'apport, une baisse significative des teneurs en manganèse (tableau XIII).

On remarque sur ce même tableau l'influence dépressive, sur les quatre oligoéléments, de la fertilisation N P K qui, augmentant les rendements, diluent les éléments absorbés.

4 - Apport de cuivre au sol

Des essais d'enrichissements en cuivre ont été réalisés dans les Monts Dore sur basalte (Laqueuille, Orcival) et sur certains sites granitiques (domaines de Theix).

L'apport de fin d'hiver de 24 kg/ha de sulfate de cuivre provoque un enrichissement important, parfois trop important de la **première pâture** printanière. Dans ce contexte climatique (700 à 1 000 mètres d'altitude) cet apport semble devoir être fait

TAB VIII - Influence de la fumure azotée sur les teneurs en oligoéléments des récoltes (mg/kg MS).
Essais I.T.C.F. Moyennes par dose de l'ensemble des coupes

	Effets significatifs avec doses croissantes d'azote (9 observations)	Effets moyens des doses croissantes d'azote			
		0	80	160	240 kg N/ha/an
Cuivre	Baisse 3 fois/9	7,5	7,4	7,2	7,2
Zinc	Baisse 3 fois/9 Hausse 1 fois/9	46,6	45,7	45,9	44,2
Manganèse	Hausse 5 fois/9	145**	161	168	168
Molybdène	Baisse 2 fois/3	(0,74 1,76	0,81 (1,35	0,81) * 1,31	0,68 1,39) (Cantal 1969) (Hte Marne 1970)
*, ** Voir explications en bas du tableau I					

TAB. IX - Influence de la fumure azotée sur les teneurs en oligo-éléments de l'herbe (mg/kg MS)
Essais INRA - Pin-au-Haras - Orne - Moyennes des coupes sur 4 ans

		Doses croissantes d'azote			
		0	80	160	320 kg N/ha/an
Cuivre	En fond de vallée Coteau sec	$\frac{7,1}{7,2}$	$\frac{6,5}{7,1}$	$\frac{6,2^*}{7,1}$	$\frac{6,1^*}{7,2}$ NS
Zinc	En fond de vallée Coteau sec	$\frac{33,5^*}{34,1}$	$\frac{39,7}{34,1}$	$\frac{34,0^*}{34,5}$	$\frac{37,7}{33,5}$ NS
Manganèse	En fond de vallée Coteau sec	$\frac{101}{(76}$	$\frac{112}{77}$	$\frac{95^*}{85)}$	$\frac{88^{**}}{**113}$
*, ** Voir explications en bas du tableau I					

TAB. X - Evolution des teneurs en cuivre (mg/kg MS) sur quatre ans selon le niveau de la fertilisation azotée
Essais INRA - Pin-au-Haras - Orne - Moyennes des coupes par an.

Moyennes		1968	1969	1970	1971	Observations
Coteau	N0 et N80	7,6	7,1	7,6	6,9	Variations capricieuses
	N160 et N320	7,9	7,5	7,1	6,8	Baisse régulière
Vallée	N0 et N80	7,1	6,8	7,2	6,3	Variations capricieuses
	N160 et N320	7,1	6,2	5,9	5,6	Baisse régulière

TAB. XI - Influence de la fumure phosphatée sur les teneurs en cuivre et en manganèse (mg/kg MS).

Essais SNST 1969

Formule NPK			Cuivre	Manganèse	Observations
St Bonnet-de-Cantal Foin de 1 ^{re} coupe	100 0 100		7,4	152	Sol brun sur basalte pH 5,2
	100-100-100	Scories	6,6	118*	
		Super	6,8	146	
		Ph. Nat.	6,7	156	
Cheylade (Cantal) Foin de 1 ^{re} coupe	0-100-0	Scories	4,7	137	Moyennes 3 modes d'apport de P.K. Sol brun sur basalte pH 6,3
		Super	4,3	143	
		Ph. Nat.	4,1	136	
	Mode d'apport PK				Moyennes de 3 formes de phosphore
	0-100-100		4,1	131	
	0-300/3 ans-100		4,3	141	
Agonges (Allier) (Moy. 1 ^{re} et 2 ^e coupes)	0-100-0		4,7	143	
	60-0-100		5,5	132	Colluvions arène granitique et marnes pH 7,3
	60-100-100	Scories	6,1	96	
		Super	5,9	112	
	Ph. Nat.	5,6	120		
Pontgibaud (Puy-de-Dôme) Premières coupes	0-0-0		5,9**	413	Arène granitique (moyenne de 4 sites)
	0-120-0	Scories	6,8	298*	
		Ph. Nat.	6,3*	413	
*, ** Voir explications en bas du tableau I					

TAB. XII - Influence des amendements sur sol brun acide - Marcenat (Cantal)
(Moyenne sur 2 coupes 1969, teneurs en mg/kg MS)

	Cu	Zn	Mn	Mo
Témoin	7,2	36,0	171	0,76
Fumier 20 t/ha (1)	6,7	37,0	161	0,78
Chaux hydratée 4t/ha (1)	6,7	33,2**	121**	1,19**
(1) Amendements appliqués en 1966, 1967 ou 1968 (le test statistique concerne la moyenne des 3 parcelles correspondantes). ** Voir explications Tableau I.				

TAB. XIII - Influence d'un amendement de gypse et du niveau de fertilisation NPK sur les teneurs en oligo-éléments dans un pré salé - St Laurent-de-la-Prée (Charente-Maritime)
(Moyenne des années 1968 - 1969 - 2 coupes/an, teneurs en mg/kg MS)

NPK	Rendements T. MS/ha	Cu	Zn (1969)	Mn	Mo 1° c. 1968 - 2° c. 1968	
0 0 0	6,4	7,4	57	85**	0,99	1,03
100 - 60 - 60	10,3	6,3	53	93 } 98*	} 0,51*]	1,04
160 - 120 - 120	12,1	6,4	59	103 }		
100 - 60 - 60 } + Gypse		6,1	58	106 }	} 0,41*]	1,08
160 - 120 - 120 } (en 1965)		6,2	55	108 } <u>107</u>		
*, ** Voir explications en bas du tableau I						

en fin mars avant le démarrage de la végétation ; il faut éviter de donner ce premier fourrage aux moutons (tableau XIV).

Toutefois l'enrichissement baisse rapidement avec le développement des plantes et devient insuffisant pour maintenir une teneur des **foins** toujours satisfaisante pour les besoins des animaux (voir tableau XV). L'enrichissement obtenu peut cependant parfois permettre de franchir un seuil de carence.

Sur les **regains**, l'effet de l'apport en fin de l'hiver redevient nettement positif (tableau XV).

V INFLUENCE DE LA COMPOSITION BOTANIQUE

1 - Différences entre familles prairiales

a) Cuivre

Les graminées sont le plus souvent plus pauvres en cuivre que les plantes diverses et les légumineuses se situent le plus souvent en position intermédiaire (tableau XVI).

b) Zinc

Graminées et légumineuses ont des teneurs voisines en zinc et nettement inférieures à celles des plantes diverses (tableau XVII).

c) Manganèse

Les graminées contiennent 2 à 3 fois plus de manganèse que les autres plantes - tout au moins là où cet élément est suffisamment disponible dans le milieu (tableau XVIII).

d) Molybdène

Les graminées ont des teneurs deux à cinq fois plus élevées que les plantes diverses (tableau XIX).

2 - Compositions spécifiques

a) Cuivre

La composition des différentes plantes constituant une même prairie est précisée à trois dates d'exploitation (tableau XX).

Le classement fait apparaître le pissenlit en tête puis le groupe Knautie, Géranium, grande Berce et Anthriscue, puis les graminées. On confirme que la pâture est plus riche que le foin, de même que les regains.

b) Zinc

Knautie et grande Berce sont plutôt plus riches que les graminées ; pissenlit, anthriscue et trèfle blanc plutôt plus pauvres (tableau XXI).

c) Manganèse

Le pissenlit est la plante la plus pauvre en manganèse ; dactyle triseté, fétuque rouge et agrostide sont les plus riches (tableau XXII).

Pour les trois éléments et pour toutes les espèces, la récolte au stade "foin" est plus pauvre que les pâtures ou les regains.

3 - Appréciation de l'influence de la composition botanique sur les teneurs en oligo-éléments du fourrage global

Il est indéniable que les différentes espèces ou catégories d'espèces n'ont pas la même aptitude à l'absorption de tel ou tel oligo-élément en particulier le groupe des graminées est en général nettement plus pauvre en cuivre et en zinc et nettement plus riche en manganèse et molybdène que les autres plantes.

Mais on ne peut envisager la prairie comme une simple juxtaposition de plantes indépendantes les unes des autres ; il y a au contraire une forte compétition dans l'absorption des éléments assimilables du sol de telle sorte qu'à tout changement de la composition botanique ne correspond pas obligatoirement un changement de la teneur du fourrage global.

Une série d'exemples assez nets est donnée par les essais de fertilisation azotée du Pin au Haras et des cinq sites de l'ITCF ; des variations considérables de la composition botanique en faveur des graminées s'opèrent sous l'effet des fertilisations azotées croissantes, alors que les teneurs en cuivre, zinc, manganèse et molybdène ne subissent que de faibles variations.

Dans le tableau des corrélations entre la contribution pondérale des graminées et les teneurs en ces quatre éléments (tableau XXIII) on relève un cas de corrélation négative pour le cuivre, de même pour le zinc ; deux cas de corrélation positive pour le manganèse ; tout cela est conforme aux tendances indiquées plus haut mais avec une faible occurrence ;

TAB. XIV - Enrichissement en cuivre des fourrages de prairie permanente par l'apport de cuivre au sol
INRA - Clermont-Theix (Puy-de-Dôme)

Lieu	Année	Date d'apport (24 kg/ha sul- fate de cuivre)	Date de 1 ^{re} récolte	Cuivre (ppm/MS)		Enrichissement
				Témoin	Fourrage enrichi	
LAQUEUILLE	1972	28/4	19/5	7,1	153,6	146,8
			7/7	3,1	5,3	2,2
LAQUEUILLE	1973	18/4	14/5	7,5	75,3	67,8
			21/5	6,3	28,1	21,8
			31/5	5,0	10,5	5,5
			12/7	4,3	4,8	0,5
ORCIVAL 1 -	1973	18/4	14/5	7,4	30,5	23,1
ORCIVAL 2 -	1974	26/3	8/5	6,7	37,8	31,1
CRZV - cases	1974	26/3	26/4	8,4	49,0	40,6
CRZV - Redon	1974	26/3	25/4	6,9	23,5	16,6
MOYENNE				6,27	41,84	35,57

TAB. XV - Enrichissement en cuivre des fourrages de prairie permanente par l'apport de cuivre au sol
INRA - Clermont-Theix (Puy-de-Dôme)

Origine	Date de récolte	Cuivre (ppm / MS)		Différence
		Témoin	Fourrage enrichi	
FOINS				
LAQUEUILLE	7/7/72 non déprimé	3,2	5,3	2,1
	déprimé le 5/5	3,9	5,2	1,3
	12/7/73 non déprimé	4,0	5,2	1,2
	déprimé le 20/5	4,7	6,4	1,7
CRZV - Cases	18/7/74	6,4	9,8	3,4
REGAINS :				
LAQUEUILLE	21/9/74	6,5	9,3	2,8
(1 ^{re} coupe le 26/7)				
LAQUEUILLE	29/8/73	7,7	9,9	2,2
(1 ^{re} coupe le 31/7)				
ORCIVAL	31/8/73	10,0	12,8	2,8
(1 ^{re} coupe le 15/7)				
PATURE				
REDON	17/7/74 (3 ^e passage)	5,3	7,3	2,0

TAB. XVI - Teneurs en cuivre (ppm MS) des trois familles de plantes prairiales.

	Graminées		Légumineuses		Diverses
ITCF Cantal 1969 (moy. 2 coupes)	7,5*		10,1		8,8
ITCF Savoie 1969 (moy. 4 coupes)	7,2		6,7		7,9
SNST Cantal 1969	5,5*		(7,9		7,6)
INRA Alsace 1966 ou 67 BERNWILLIER	(moyenne sur 2 coupes)		6,2**	7,0**	9,0
HOCHSTATT	7,0*		—		8,3
ILLHAÜSERN	7,7	**	13,8	**	11,8
ILLHAÜSERN	Arène	**	8,9		9,5
	Alluvions	**	—		8,5
LAPOUTROIE	7,3				12,9
MITTLACH	8,9				9,9
St GILLES	10,3	*	11,3	**	9,2
*, ** Voir explications en bas du tableau I					

TAB. XVII - Teneurs en zinc (ppm/MS) des trois familles de plantes prairiales.

INRA (Alsace 1966 ou 1967. Moyennes sur 2 coupes)					
	Graminées		Légumineuses		Diverses
BERNWILLIER	27		27	**	49
HOCHSTATT	30	**	(—)		52
ILLHAÜSERN	28	**	41	**	52
LUTTENBACH	Arène		43	**	56
	Alluvions	**	(—)		156
LAPOUTROIE	55	*	(—)		105
MITTLACH	54	**	(—)		72
St GILLES	(49		53)	*	42
*, ** Voir explications en bas du tableau I					

TAB. XVIII - Teneurs en manganèse (ppm/MS) des trois familles de plantes prairiales.

	Graminées		Légumineuses		Diverses
ITCF Cantal 1969 (moy. 2 coupes)	249	**	91		67
SNST Cantal 1969	214		100**		112*
INRA ALSACE (1966 ou 67, moy. 2 coupes)					
ILLHAÜSERN	33		27		28
LUTTENBACH	259		97*		128*
*, ** Voir explications en bas du tableau I					

TAB. XIX - Teneurs en molybdène (ppm/MS) des trois familles de plantes prairiales.

	Graminées	Légumineuses	Diverses
ITCF Savoie 1969	0,89	*	0,43
INRA (Alsace)			
HOCHSTATT (Regain)	2,58	—	0,46
ILLHAÜSERN Foin	1,11	—	0,35
Regain	2,79	—	0,61
LUTTENBACH Arène	1,78	0,37	0,81
(Regain)			
LUTTENBACH Alluv.	1,67	0,56	0,74
(Regain)			
* Voir explications en bas du tableau I.			

TAB. XX - Teneurs spécifiques en cuivre (ppm/MS) selon le stade et la saison (Mont Dore)

	Pâturage	Foin	Regain
DACTYLE	7,2	4,2	8,2
TRISETE	5,9	3,2	6,4
FETUQUE ROUGE	6,8	5,5	7,8
AGROSTIDE	7,7	5,8	5,0
AVOINE PUBESCENTE	5,2	4,3	5,8
PATURIN DES PRES	6,1	4,5	—
TREFLE BLANC	6,2	3,9	6,4
KNAUTIE DES CHAMPS	10,9	4,2	8,7
PISSENLIT	—	12,0	16,8
GERANIUM SYLVESTRE	11,3	6,4	10,4
GRANDE BERCE	6,9	—	10,0
ANTHRISQUE SYLV.	7,6	—	11,2

TAB. XXI - Teneurs spécifiques en zinc (ppm/MS) selon le stade et la saison (Monts Dore)

	Pature	Foin	Regain
DACTYLE	41	28	35
TRISETE	51	34	41
FETUQUE ROUGE	38	25	33
AGROSTIDE	46	34	—
AVOINE PUBESCENTE	46	33	55
PATURIN DES PRES	47	43	—
TREFLE BLANC	39	31	31
KNAUTIE DES CHAMPS	66	42	66
PISSENLIT	40	20	47
GERANIUM SYLV.	35	24	35
GRANDE BERCE	48	—	59
ANTHRISQUE SYLV.	33	—	34

TAB. XXII - Teneurs spécifiques en manganèse (ppm/MS) selon le stade et la saison (Mont Dore)

	Pâture	Foin	Regain
DACTYLE	215	186	204
TRISETE	249	176	134
FETUQUE ROUGE	248	227	233
AGROSTIDE	336	252	—
AVOINE PUBESCENTE	141	104	162
PATURIN DES PRES	119	94	—
TREFLE BLANC	128	72	120
KNAUTIE DES CHAMPS	151	80	108
PISSENLIT	47	30	81
GERANIUM SYLV.	151	104	124
GRANDE BERCE	74	—	111
ANTHRISQUE SYLV.	77	—	142

TAB. XXIII - Corrélations linéaires entre la composition botanique (G pourcentage pondéral des graminées) et les teneurs en oligo-éléments (mg/kg MS)

		Cuivre		Zinc		Manganèse		Molybdène	
		r	n	r	n	r	n	r	n
CANTAL	1969	—0.169	24	—0.280	24	+ 0.073	24	—0.114	21
	1970	—0.305	24	+ 0.046	24	—0.0	23		
HAUTE-MARNE	1970	—0.428**	41	—0.318	44	+ 0.083	44	—0.636**	34
	1971	—0.124	48	+ 0.208	48	+ 0.469**	48	—0.185	24
MAYENNE	1970	—0.243	16	+ 0.156	16	+ 0.612*	16	—0.434	9
	1971	—0.355	16	+ 0.086	16	+ 0.599	8		
MEURTHE-ET-MOSELLE	1970	—0.010	32	—0.002	32	+ 0.255	32	+ 0.284	8
SAVOIE		—0.027	40	—0.440**	40	—0.073	40	+ 0.324	10
	1971	—0.015	44	—0.209	44	+ 0.076	44		
*, ** Voir explications en bas de tableau I									

on relève aussi un cas de corrélation négative pour le molybdène ce qui est contradictoire ; d'autres facteurs, par exemple l'acidification du sol avec des doses élevées de nitrate d'ammonium interviennent ici pour diminuer la mobilité de cet élément. Ceci montre que les changements de végétation s'ils ont une action sur la teneur du fourrage récolté, ne sont pas forcément le facteur le plus actif.

VI CONCLUSION GENERALE

Nous avons montré qu'un grand nombre de facteurs agissent sur les teneurs en oligo-éléments des fourrages des prairies permanentes.

Nous concluons par deux comparaisons :

- d'une part en confrontant les variations observées d'un site d'essai à l'autre à celles qui ressortent de l'enquête faite sur l'ensemble de la France ; ce qui revient à tester l'échantillonnage des sites d'essais.
- d'autre part en soulignant l'importance relative des facteurs étudiés d'après l'amplitude des variations observées pour chaque facteur.

1 - Valeur de l'échantillonnage des sites d'essai

On peut souligner la grande diversité des sites d'où proviennent les résultats des essais mentionnés ci-dessus (tableau I et II).

Dans quelle mesure les compositions de ces fourrages sont-elles comparables à celles des foins en France (exposé de S. PERIGAUD) ? Rappelons ici les valeurs trouvées dans cette enquête pour les comparer aux chiffres des tableaux I et II.

Teneurs des foins de première coupe (France entière)

$$\overline{\text{Cu}} \pm \frac{\sigma_{\text{Cu}}}{\sqrt{N}} = 5,20 \pm 0,05 \text{ mg/kg MS}$$

$$\overline{\text{Zn}} \pm \frac{\sigma_{\text{Zn}}}{\sqrt{N}} = 29,09 \pm 0,37 \text{ mg/kg MS}$$

$$\overline{\text{Mn}} \pm \frac{\sigma_{\text{Mn}}}{\sqrt{N}} = 158,15 \pm 5,27 \text{ mg/kg MS}$$

$$\overline{\text{Mo}} \pm \frac{\sigma_{\text{Mo}}}{\sqrt{N}} = 0,63 \pm 0,04 \text{ mg/kg MS}$$

Dans notre ensemble d'essais, les fourrages sont souvent nettement plus riches en cuivre, zinc, manganèse et molybdène que les foins de première coupe inventoriés dans cette enquête.

Le stade et la saison de récolte en sont les causes principales : les fourrages de ces essais ont en effet été prélevés à tout stade et en toute saison, ceux récoltés au stade "fauche" étaient généralement plus jeunes que les foins récoltés dans la pratique agricole courante.

Par contre pour le cuivre, le zinc et le molybdène, l'amplitude des variations observées d'un site à l'autre est du même ordre de grandeur que celle observée dans l'enquête d'une région à l'autre. Pour le manganèse, les moyennes par région ne peuvent être établies à cause d'une forte variabilité tandis que chacun des sites d'essai semble bien caractérisé par une gamme de variations particulière ; quoiqu'il en soit, on retrouve pour le manganèse des teneurs extrêmes du même ordre de grandeur que celles rencontrées dans l'ensemble de la France (c'est-à-dire 12 à 600 mg/kg MS dans l'enquête).

Finalement, pour les quatre éléments considérés, l'échantillonnage des sites d'essais se révèle assez représentatif de la situation française bien qu'il ne prétende nullement à l'exhaustivité.

2 - Importance relative des facteurs étudiés (tableau XXIV)

Nous avons considéré dans chaque site la moyenne des teneurs des récoltes en fauche et en pâture et inscrit les écarts maximums entre sites (tableau XXIVa).

Ensuite nous avons considéré dans chaque site l'amplitude des variations des **teneurs** due à un facteur déterminé (moyennes des teneurs de toutes les récoltes analysées pour chaque état du facteur) et nous avons inscrit l'amplitude maximale observée sur l'ensemble des essais pour chaque facteur étudié (tableau XXIVb).

Enfin nous avons inscrit l'écart moyen observé dans les teneurs en cuivre au sol en hiver (tableau XXIVc).

La simple comparaison de ces écarts ou de ces amplitudes fait ressortir le classement des facteurs :

L'influence des facteurs naturels, site et saison, est prépondérante pour les quatre éléments considérés.

Toutefois, dans le cas du cuivre, la fertilisation cuivrique par apport au sol joue un rôle primordial, parfois excessif, sur les teneurs en cuivre de la première pâture après l'application, et un rôle correctif encore notable sur les foins et surtout les regains.

Le stade de récolte prend place immédiatement après le site et la saison pour les quatre éléments (sauf en première pâture pour le cuivre).

La dose d'engrais azoté et l'année ont des effets assez modestes ; l'influence du facteur "année" est très probablement sous-estimé car les séries sont très courtes (2 à 4 années seulement). En tout cas, ces deux facteurs peuvent entrer en interaction : on observe, en effet, une baisse régulière des teneurs en cuivre durant quatre ans avec l'application de 160 à 320 kg d'azote/ha ; mais les autres éléments ne sont pas touchés.

TAB. XXIV - Comparaison des facteurs agissant sur la composition des fourrages : amplitude des variations observées (mg/kg MS)

	Cuivre	Zinc	Manganèse	Molybdène
a ECARTS MAXIMUMS ENTRE SITES				
en pâture	2,5	33	301	NS
en fauche	4,6	33	741	1,52
b AMPLITUDE MAXIMALE OBSERVEE EN UN LIEU SOUS L'EFFET DU FACTEUR :				
Année	1,5	10	81	0,68
Saison en pâture	3,1	30	450	0,32
en fauche	4,2	35	99	0,84
Stade de récolte	3,2	25	95	0,54
Dose d'azote	1,4	18	60	0,45
Dose P (Scories)	NS	—	38	—
Chaulage	NS	4	50	0,43
Apport de Gypse	NS	NS	9	NS
c ECART MOYEN OBTENU PAR APPORT DE CUIVRE AU SOL (24 kg sulfate Cu)				
Première pâture	35,5	—	—	—
Première fauche	1,9	—	—	—
Regain	2,5	—	—	—

Le chaulage est en avant dernière position dans le classement des facteurs actifs mais il n'a été étudié que dans un cas ; son action s'y révèle faible sur les teneurs en cuivre et en zinc, très nette sur les teneurs en manganèse (baisse) et en molybdène (hausse).

L'apport du gypse et la fertilisation aux scories sont en dernière position et modifient seulement les teneurs en manganèse.

Dans les prairies permanentes intensifiées, du point de vue zootechnique (1), l'insuffisance des fourrages en cuivre et en zinc est très répandue, plus grave sur les foins que sur les pâtures et les regains. L'apport de cuivre au sol en hiver constitue une correction partielle mais efficace des teneurs en cuivre. La complémentation doit être systématique.

Le manganèse est suffisant dans les fourrages à pâturer et les regains inventoriés ; au stade foin des insuffisances peuvent se manifester. L'apport d'azote tend à améliorer les teneurs. Le chaulage peut être défavorable.

La toxicité du molybdène ne semble pouvoir se manifester qu'en des sites ou des régions peu nombreuses, calcaires et humides (où le chaulage prédisposant à la toxicité est de toute façon inopportun).

Les fumures phospho-potassiques n'ont pas de conséquences au niveau des insuffisances ou des excès en oligo-éléments, et ne paraissent pas non plus apporter des avantages sensibles pour la correction des fourrages en ces éléments. Les scories qui abaissent légèrement les teneurs en manganèse ne présentent pas d'inconvénients puisqu'elles sont généralement utilisées dans les prairies acides où cet élément est largement disponible.

Le mode d'affouragement, pâture directe ou distribution du vert à l'étable, n'a toujours pas de conséquence pratique sur la qualité minérale du fourrage après cinq à sept ans de différenciation des parcelles.

(1) On ne tient pas compte ici de la digestibilité relative des oligo-éléments dans les différents fourrages.

DISCUSSION

M. BRICOUT — Pour les essais que vous nous avez relatés, quelles proportions ont été conduites en terre calcaire et en terre acide ?

M. de MONTARD — J'ai fréquemment des pH acides, ce qui est normal sur prairie car lorsqu'on fait une analyse, on prend plutôt la surface. Par contre, un certain nombre de ces essais se trouve sur des roches mères calcaires. En particulier, dans les essais de l'I.T.C.F., trois ou quatre sont à un pH voisin de la neutralité. Dans les essais du PIN un, sur les deux, se situe sur une roche calcaire.

M. BRICOUT — En ce qui concerne le manganèse, ne faut-il pas distinguer entre les prairies établies en terre très acide, les prairies établies en terre moyennement acide et les prairies établies en terre calcaire. Il semble, d'après ce qui a été dit, que l'on risque peu de carence en manganèse en terre acide. Cependant, sur d'autres cultures que les prairies, en terre acide, on a des problèmes de manganèse à la suite de périodes pluvieuses et froides.

M. de MONTARD — Nous avons un exemple d'une telle situation au domaine I.N.R.A. de LAQUEUILLE où la pluviosité est très importante (1 500 mm), les températures froides et le sol acide (pH 5,5). Malgré cela les teneurs en manganèse des fourrages de l'ordre de 300 ppm sont très importantes.

Les essais sur prairies permanentes ont été effectués sur des sols calcaires. Mais, ces sols de prairies permanentes sont peu travaillés et il s'ensuit une acidification en surface qui compense le caractère calcaire.

M. MANDRON — M. BRICOUT a fait illusion à d'autres plantes. Ne s'agit-il pas du maïs ?

M. BRICOUT — Non, il s'agissait de la vigne en terre très acide et qui extériorise bien les symptômes de carence en manganèse.

M. de MONTARD — On peut effectivement faire baisser les teneurs en manganèse en sol acide. Ceci s'est produit au PIN AU HARAS (Orne) en sol alluvial en augmentant les doses d'azote bien que ce soit contraire aux cas les plus courants.

Le manganèse disponible dans le sol peut donc être insuffisant, surtout pour une culture à croissance extrêmement active dans certaines périodes comme la vigne.



COMPORTEMENT SPECIFIQUE DE DIFFERENTES ESPECES FOURRAGERES VIS-A-VIS DE LEURS POSSIBILITES D'ACCUMULATION DU CUIVRE DANS LES PARTIES AERIENNES

Y. COÏC, Christiane LESAIN

INRA - Station de Physiologie Végétale
Route de St Cyr - 78000 VERSAILLES

I INTRODUCTION

La teneur en cuivre de la matière sèche des plantes fourragères est souvent inférieure à celle qui serait nécessaire pour assurer une bonne alimentation en cuivre du bétail.

On sait aussi combien il est difficile d'accroître la teneur en cuivre des parties aériennes de la plante. Pourquoi ?

- Est-ce dû à une dynamique particulière du cuivre dans le sol ou à des conditions particulières d'alimentation en cuivre des plantes dans le sol, cette dynamique et ces conditions étant variables suivant la nature des sols ?

Est-ce dû, par contre, à la physiologie de la plante en ce qui concerne l'absorption du cuivre par les racines et sa migration et rétention (le bilan étant l'accumulation) dans les parties aériennes ?

C'est sur ce deuxième problème que nous avons travaillé.

Pour cela, nous avons utilisé des solutions nutritives complètes dans lesquelles la concentration en cuivre variait très largement. Nous avons utilisé trois concentrations : celle que nous avons l'habitude d'utiliser dans nos solutions nutritives (64 microgrammes par litre), une concentration cinq fois moins élevée (12,8 μ /l) et une concentration cinq fois plus élevée.

Nous avons pu ainsi comparer diverses espèces fourragères (graminées et légumineuses) du point de vue :

- 1) de leurs besoins en cuivre, c'est-à-dire, en l'occurrence des concentrations en cuivre nécessaires à une croissance maximum.
- 2) des possibilités d'absorption et d'accumulation dans les organes (racines, parties aériennes).
- 3) de l'action des divers éléments de la nutrition sur ces possibilités.

Ont été étudiées :

- la proportion d'ions ammonium pour une même concentration d'ions azotés de la solution nutritive ;
- la concentration en ions phosphates ;
- la concentration en ions sulfates ;
- la concentration en ions chlorures ;

Pourquoi ces choix ?

On sait que ces ions sont importants du point de vue des phénomènes d'absorption et d'utilisation des autres ions* :

- importance du métabolisme des nitrates et de leur localisation sur l'absorption, la migration et l'accumulation des cations ;
- importance de l'ion NH_4^+ du point de vue de l'absorption, de la migration et de l'accumulation des cations ;
- influence de l'ion PO_4^{3-} sur l'absorption de certains oligo-éléments : Zn, Cu ;
- influence de l'ion chlore (non métabolisable) par comparaison à l'ion sulfate sur la migration vers les feuilles de certains cations (Ca^{++}).

*Y. COÏC - Sur le déterminisme de l'absorption des cations minéraux par les genres et les espèces végétaux : influence de la localisation du métabolisme de l'azote. C.R. Acad. Agri., 1964, 925-932.

Nous avons travaillé en solutions nutritives fixes, ce qui nous permet d'obtenir facilement les racines pour l'analyse. Ces solutions sont évidemment remplacées souvent par une solution neuve (tous les jours lorsque les plantes ont atteint une certaine taille).

Les expériences sur toutes les plantes fourragères n'ont pu être réalisées en même temps et certaines, sur luzerne et trèfle par exemple, l'ont été en fin d'été, début automne, ce qui modifie la physiologie de l'absorption et de l'utilisation des ions, pas suffisamment pensons-nous pour modifier l'interprétation.

Lorsqu'en solution nutritive on remplace une partie de NO_3^- par NH_4^+ , il faut modifier la concentration des autres ions.

Nous vous donnons la composition en macro-éléments des deux solutions nutritives que nous avons utilisées : l'une ne comportant que l'ion NO_3^- , l'autre comportant 1/5ème d'ion NH_4^+ (tableaux I et II).

TAB. I - Composition de la solution nutritive
($\text{NH}_4^+ = 0$)

	NO_3	PO_4	SO_4	Cl	Total
K	5	1			6
Na				0,5	0,5
Ca	7				7
Mg			1,7		1,7
NH_4					
H		2			2
Total	12	3	1,7	0,5	17,2

Tab. II - Composition de la solution nutritive
($\text{NH}_4^+ = 1/5$, $\text{NO}_3^- = 4/5$)

	NO_3	PO_4	SO_4	Cl	Total
K	2,92	0,8 0,4			4,12
Na				0,5	0,5
Ca	4,82				4,82
Mg			1,16		1,16
NH_4	1,86		0,54		2,4
H		1,6 0,2			1,8
Total	9,6	3	1,7	0,5	14,8

Ces tableaux à double entrée nous permettent de voir sous forme de quels sels ont été apportés les ions. Les phosphates sont apportés sous forme mono ou bimétallique et, dans le tableau II, les chiffres supérieurs des cases "phosphates" représentent le phosphate monopotassique et l'autre le bipotassique (il y a 0,8 méq/l de K et 1,6 de H dans le phosphate mono-potassique).

On voit que les deux solutions ont la même concentration en anions NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- . En conséquence, dans la solution II, où l'ammonium a remplacé une partie des ions nitrates, on a diminué les principaux cations (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) et dans la même proportion.

Les autres oligo-éléments que le cuivre sont apportés à des concentrations normales.

II RESULTATS

1. Influence sur le taux de matière sèche (tableau III)

Nous avons comparé cinq graminées fourragères : le Dactyle, la Fétuque élevée, la Fléole, le Ray-Grass d'Italie et le Maïs ainsi que deux légumineuses, la Luzerne et le Trèfle violet.

Dans le mode de culture utilisé (solution nutritive fixe), on peut dire que toutes les cultures ont bénéficié de la présence d'une certaine proportion d'ions ammonium parmi les ions azotés. Ce bénéfice a été plus ou moins grand suivant les espèces végétales : très fort pour la luzerne, fort pour le dactyle et la fétuque élevée, un peu moins fort pour le Ray-grass d'Italie, la fléole et le maïs. Il est intéressant de constater que la luzerne, qui a très bien poussé en solution nutritive fixe, en portant des nodosités, bénéficie d'une alimentation en partie ammoniacale.

TAB. III - Poids sec total récolté (en grammes par cuvette)

Concentrations en Cu	Solution I (tout N en NO_3^-)			Solution II NO_3^- (4/5), NH_4^+ (1/5)		
	12,8 $\mu\text{g/l}$	64 $\mu\text{g/l}$	320 $\mu\text{g/l}$	12,8 $\mu\text{g/l}$	64 $\mu\text{g/l}$	320 $\mu\text{g/l}$
Dactyle (Prairial)	33,8	32,7	30,3	45,3	50	35,9
Fétuque élevée (Ludion)	28,2	26,4	22,4	40,2	39,6	35,2
Fléole (Mélusine)	17,4	20,7	11,4	25,7	24,2	13,3
Ray-Grass d'Italie (Rina)	43	43,4	36,1	63,3	59,1	57,5
Maïs (I.N.R.A. 260)	22,8	20,3	19,4	23,8	20,3	19,5
Luzerne (Luciole)	21,1	25,1	24,6	30,6	31,7	37,6
Trèfle violet (Alpilles)	24,8	26,9	23,6	24,8	24,4	26,5

Cette nutrition, comportant une certaine proportion d'ammonium, conduit aussi à une teneur en protides de la matière sèche plus élevée. Donc, la protidosynthèse a été plus accrue que la photosynthèse (l'accroissement de la photosynthèse étant vraisemblablement une conséquence de l'accroissement de la protidosynthèse).

D'après les poids de matière fraîche et de matière sèche obtenus, on peut constater que les concentrations en cuivre des solutions nutritives ont été assez bien choisies, puisque la dose forte (320 $\mu\text{g/l}$) est toxique pour les graminées, la dose moyenne (64 $\mu\text{g/l}$) l'étant généralement un peu et la plus petite dose (12,8 $\mu\text{g/l}$) donnant le meilleur résultat dans la plupart des cas. On peut donc penser que la dose optimum de cuivre pour obtenir la meilleure croissance doit se situer un peu au-dessus de la dose la plus faible.

La luzerne aurait des besoins en cuivre plus grand.

Nous verrons d'ailleurs que la concentration la plus faible conduit à des teneurs en cuivre de la matière sèche des feuilles de graminées bien supérieures à celles généralement rencontrées dans la pratique agricole.

2. Différences spécifiques dans la teneur en cuivre de la matière sèche des divers organes. (Tab. IV)

La fléole se distingue des autres espèces de graminées par une teneur en cuivre des feuilles nettement plus élevée, le maïs ayant une teneur plus faible et les teneurs respectives des autres graminées étant voisines lorsqu'il n'y a pas toxicité. La teneur des tiges et gaines des feuilles est un peu inférieure à celle des feuilles sauf dans la fétuque. Le poids des tiges et gaines représente d'ailleurs une faible proportion de la partie aérienne au moment où nous avons fait la récolte.

- Chez la luzerne, la teneur des tiges est voisine de celle des feuilles.

La teneur en cuivre de la matière sèche des racines est beaucoup plus grande que celle des parties aériennes.

Chez le trèfle violet, la teneur en cuivre des feuilles est inférieure à celle des graminées, les tiges ayant aussi une teneur inférieure.

Pour la luzerne, la teneur en cuivre des feuilles et celle des tiges sont beaucoup plus faibles (2 fois dans cette expérience) que celles des graminées.

Les teneurs en cuivre des racines des deux légumineuses étudiées sont beaucoup plus faibles que celles des racines de graminées.

TAB. IV - Teneurs en cuivre de divers organes
Teneurs en cuivre, en mg par kg (ou p.p.m.) de matière sèche
F = feuilles TG = tiges + gaines ou pétioles R = racines

		Solution I (tout N en NO ₃ ⁻)			Solution II NO ₃ ⁻ (4/5), NH ₄ + (1/5)		
Concentrations en Cu (µg/l)		12,8	64	320	12,8	64	320
Dactyle (Prairial)	F	17	25	33	36	30	24
	TG	13	18	23	18	20	24
	R	90	260	968	140	440	1265
Fétuque élevée (Ludion)	F	17	18	30	17	18	27
	TG	30	20	25	20	19	26
	R	146	410	1054	352	521	1413
Fléole (Mélusine)	F	27	29	34	39	42	61
	TG	22	23	39	24	29	42
	R	104	503	510	405	509	661
Ray-grass d'Italie (Rina)	F	19	22	23	22	22	27
	TG	17	21	27	26	28	35
	R	101	276	670	163	419	789
Maïs (INRA)	F	16	17	19	23	24	31
	TG	13	15	15	16	18	18
	R	60	174	680	184	799	1930
Luzerne (Luciole)	F	8	8	10	9	9	11
	TG	7	8	12	11	11	14
	R	15	19	34	13	18	29
Trèfle violet (Alpilles)	F	13	16	16	18	20	22
	TG	9	11	13	14	16	18
	R	17	22	37	35	62	151

3. Influence de la nature des ions azotés.

Une certaine proportion d'ammonium dans la solution nutritive accroît toujours considérablement la teneur en cuivre des racines de toutes les graminées fourragères (de 60 à 300 p. cent suivant les espèces). Elle augmente aussi la teneur en cuivre des feuilles et des tiges + gaines sauf chez la fétuque élevée, et cet accroissement (15 à 40%) est nettement plus faible que celui provoqué chez les racines.

Chez le trèfle violet, on constate cet accroissement tant dans les racines que dans les feuilles et tiges comme effet de l'ion NH₄⁺. De même, chez la luzerne.

4. Influence de la concentration en cuivre des solutions nutritives.

On constate que lorsque l'on multiplie par 5 la concentration la moins élevée du cuivre dans la solution nutritive, on multiplie par 1,5 au maximum la teneur du cuivre dans les feuilles et encore moins dans les tiges et gaines. Dans le ray-grass italien, la fléole, la fétuque élevée, cette élévation de la teneur est encore plus petite ou inexistante ; de même chez la luzerne. Quand on multiplie la concentration du cuivre une nouvelle fois par 5 (concentration initiale multipliée par 25), on n'obtient encore que de faibles augmentations de la teneur en cuivre des feuilles et tiges, bien que la matière sèche produite soit abaissée fortement en raison de la toxicité du cuivre.

Par contre, la teneur en cuivre des racines de graminées fourragères croît énormément : de 3 à 5 fois suivant les espèces, quand on multiplie par 5 la concentration en cuivre la plus faible et encore considérablement lorsqu'elle est de nouveau multipliée par 5. On arrive donc à des teneurs énormes dans les racines, jusqu'à 1 400 p.p.m. chez la fétuque élevée, 1 300 chez le dactyle. Curieusement, la fléole, qui contient plus de cuivre dans la feuille, en accumule le moins dans les racines, en particulier lorsque la concentration du milieu alimentaire devient excessive. On peut donc penser que la toxicité du cuivre en excès dans le milieu alimentaire doit commencer par une action sur les racines (leur croissance et aussi leurs fonctions). L'effet sur leur croissance est très net dans nos expériences.

Chez les légumineuses (luzerne et trèfle violet), on ne trouve pas cette accumulation excessive de cuivre dans les racines. On a vu que leurs productions de matière sèche n'étaient pas diminuées, au contraire, par une concentration excessive pour les graminées.

Une variation de la composition de la solution nutritive en ce qui concerne $\text{PO}_4\equiv$, $\text{SO}_4=$, et Cl^- a peu d'effet sur la teneur en cuivre des espèces étudiées (Dactyle, Fléole, Ray-grass, Trèfle violet).

III CONCLUSION

Les expériences en solutions nutritives synthétiques comportant une variation de la concentration en cuivre, ainsi qu'une variation de la nature des ions azotés (tout NO_3^- ou $1/5$ de NH_4^+) nous ont montré :

La difficulté inhérente à la plante d'enrichir en cuivre les parties aériennes des graminées fourragères (dactyle, fétuque élevée, fléole, ray-grass italien, maïs) ou des légumineuses (luzerne, trèfle violet). En effet, une augmentation de la concentration en cuivre des solutions nutritives provoque une accumulation considérable du cuivre dans les racines, alors que la partie aérienne accroît peu la teneur en cuivre de sa matière sèche, même lorsque la production de celle-ci est diminuée par une trop forte concentration en cuivre du milieu nutritif.

Les graminées fourragères ont plus d'aptitude que les légumineuses à l'accumulation du cuivre dans la matière sèche des parties aériennes.

Parmi les graminées fourragères, la fléole a, dans nos conditions expérimentales, une plus grande teneur en cuivre de la partie aérienne.

La présence d'une certaine proportion d'ammonium parmi les ions azotés a non seulement favorisé la croissance, mais aussi l'accumulation du cuivre dans toutes les parties de la plante.

Les légumineuses semblent avoir besoin de plus de cuivre pour atteindre la croissance optimum et être moins sensibles à une forte concentration en cuivre.



DISCUSSION

M. METTAUER — Vous avez parlé d'accumulation au niveau des racines. Le cuivre dépasse-t-il ou non le niveau de l'endoderme ? Peut-on dans le second cas le considérer comme réutilisable par le sol ?

M. COÏC — Je pense qu'il doit se fixer énergiquement sur certaines structures, mais qu'il n'est peut-être pas irrémédiablement fixé et peut être déplacé dans certaines circonstances.

M. METTAUER — Pour que le cuivre puisse arriver au niveau des feuilles, il faut qu'il passe au niveau de l'endoderme. S'il n'y arrive pas, je considère qu'il est resté à l'extérieur de l'endoderme. Avez-vous des précisions ?

M. COÏC — Non, et ces précisions manquent aussi pour d'autres éléments plus étudiés que le cuivre, par exemple pour le sodium. Cet élément s'accumule assez facilement dans la feuille chez certaines espèces : betterave, orge, chicorée-endive et peu chez d'autres : maïs, pois où alors il s'accumule dans les racines. Jean RUF de la VISON pensait qu'il s'accumulait au niveau de l'endoderme. Mais l'accumulation est le résultat du bilan arrivée-sortie. Généralement, on pense que si l'on trouve peu de l'élément considéré dans la feuille, c'est qu'il n'y arrive qu'en faible quantité ; mais on pourrait aussi bien penser qu'il la quitte très facilement. Une expérience faite par BARBIER sur pois, en compartimentant les racines de sorte qu'une seule partie des racines recevait du sodium, a montré que l'autre partie des racines contenait aussi beaucoup de sodium ; en conséquence, il se rallie à la deuxième alternative : non accumulation de sodium dans les feuilles parce que cet élément la quitte très facilement.

Nous avons fait des expériences où l'on pulvérisait un sel de sodium radioactif sur des feuilles et où l'on trouvait qu'il descendait très rapidement vers les racines.

Pour le cuivre, nous avons constaté cette différence entre graminées et légumineuses et aussi des différences entre espèces.

L'interprétation de la modalité d'accumulation du cuivre dans la feuille est très importante, en particulier en ce qui concerne le devenir du cuivre apporté par pulvérisation foliaire.

M. DUBOIS — Je suis frappé par cette différence. Existe-t-il une explication sur le plan physiologique ?

M. COÏC — Peu de gens travaillent sur les racines car il est très difficile de les isoler totalement de leur environnement. D'autre part, peu de recherches d'ordre physiologique sont faites sur les structures fixatrices du cuivre (on sait qu'une bonne partie du cuivre de la feuille se trouve dans les chloroplastes) et sur les ions où autres substances (glucides par exemple ?) qui l'accompagnent dans ses migrations.

M. LAISSUS — L'accumulation très importante de cuivre dans les racines peut-elle permettre de penser que ces réserves seront utilisées par la plante sur une période de plusieurs années ?

M. COÏC — C'est ce que j'ai sous-entendu, mais il faudrait faire des études précises dans ce domaine ; cela est très important pour les plantes fourragères dont la partie aérienne est enlevée en grande partie plusieurs fois au cours de l'année. La croissance est un processus qui intervient intensément en favorisant l'absorption, la migration et l'utilisation des ions minéraux. Quant à la teneur en cuivre de la matière sèche de la feuille, qui est un rapport, elle ne traduit que l'accumulation comparée du cuivre et des matières organiques dans la feuille. Si la croissance est rapide, on peut constater une diminution de la teneur en cuivre bien que l'absorption et la migration soient très accrues, mais l'accumulation de matière sèche est encore plus grande que celle du cuivre.

Mme PERIGAUD — SALSAC a montré que le cuivre s'accumulait très fortement dans les racines et ceci sans que l'on constate de transfert très important dans les parties aériennes.

Dans un objectif d'utilisation par l'animal des fourrages enrichis, notre problème est de savoir s'il y a des différences de comportement entre les plantes fourragères, si certaines plantes sont plus faciles à enrichir que d'autres et s'il est possible de les enrichir sans atteindre le seuil de toxicité. M. COÏC a montré qu'il y a un plafond à ne pas dépasser, que les graminées se comportent différemment des légumineuses et, qu'en particulier la fléole s'enrichit plus que les autres graminées.

En fait, les fléoles ont un comportement très particulier : sur un sol très pauvre, la fléole est la graminée la plus pauvre et, sur un sol très riche, elle est la plus riche. Sur solution nutritive la richesse de la fléole s'explique probablement parce que le cuivre est alors très disponible.

En ce qui concerne l'étude des racines, le problème le plus ardu à résoudre est celui de la spécificité du dosage, même dans les cultures sur solutions nutritives. En effet, la racine est très difficile à isoler des bactéries et mucilages qui l'entourent. Nous-mêmes, nous avons fait des dosages comparés sur des racines âgées et des racines jeunes. Les parties très vieilles de graminées (qui restent gluantes au lavage) accumulent des quantités énormes de cuivre puisque l'on trouve des teneurs variant entre 300 et 1 000 mg/kg pour les parties âgées contre 30 à 40 mg/kg seulement dans les parties jeunes.

EXEMPLE D'UN MODELE SIMPLIFIE POUR L'ETUDE DES MIGRATIONS DU CUIVRE APPORTE PAR VOIE FOLIAIRE

M. HENRY, S. PERIGAUD

INRA

Station de Physiopathologie de la Nutrition
CRZV Theix - 63110 BEAUMONT

I INTRODUCTION

Des cartes établies à la suite d'enquêtes auprès des éleveurs et des vétérinaires praticiens (PERIGAUD, LAMAND, 1973 ; LAMAND, PERIGAUD, 1973) ont montré que des carences en cuivre en particulier, affectent les ruminants dans la plupart des régions de France. Ces carences ont pour origine une teneur des fourrages insuffisante en cuivre (BELLANGER, PERIGAUD, LAMAND, 1973). On peut essayer d'enrichir ces fourrages, par aspersion foliaire, mais les résultats obtenus (PERIGAUD, 1970 ; COPPENET, 1970) mettent en évidence des variations d'efficacité importantes selon les modalités d'emploi. Les nombreux facteurs en jeu sont trop variables pour pouvoir être étudiés sur le terrain. C'est ce qui a nécessité l'étude au laboratoire d'un modèle simplifié d'absorption et de migration du cuivre apporté par voie foliaire chez le maïs.

II CONDITIONS EXPERIMENTALES

Le maïs a été choisi car c'est une graminée monotalle, c'est-à-dire n'ayant pas de rejet à la base. C'est une plante consommée par les ruminants, le plus souvent insuffisamment pourvue en cuivre. De plus, cette plante présente des avantages pour l'étude au laboratoire d'un enrichissement en cuivre par voie foliaire : feuilles larges, matière sèche importante.

Les maïs ont été étudiés à un stade végétatif défini, avant toute différenciation d'organes reproducteurs : le stade quatrième feuille ligulée (c'est-à-dire stade pour lequel on voit apparaître à l'aisselle de la feuille une membrane appelée ligule).

Pour avoir des conditions climatiques (température, hygrométrie) constantes et reproductibles, les cultures ont été faites en chambre de végétation. Pour éviter les interférences dues à la présence du sol, la croissance a été menée sur solution nutritive, renouvelée périodiquement.

L'apport foliaire n'a pas été fait sous la forme de pulvérisation, mais d'un dépôt localisé au centre de la quatrième feuille, ce qui permet de suivre la migration dans les autres parties de la plante.

0,4 mg de cuivre ont donc été déposés sous un volume de 0,2 ml dans un anneau, en général sous forme sulfate, accompagnés d'un mouillant le Tween 20 à 0,02%.

Les maïs prélevés et découpés en différentes parties sont mis à sécher, puis pesés et enfin minéralisés par voie humide nitro-perchlorique.

Le cuivre est alors dosé par absorption atomique.

III RESULTATS

Nous verrons d'abord quelle est l'évolution de l'enrichissement en cuivre de la partie aérienne du maïs en fonction du temps à la suite d'un dépôt foliaire de sulfate de cuivre sur la quatrième feuille ligulée.

Puis, nous comparerons les enrichissements obtenus par deux formes de cuivre : l'oxyde et le sulfate de cuivre, ceci sur l'ensemble de la partie aérienne et en fonction du temps.

Ensuite nous essayerons de montrer quel peut être l'effet du calcium utilisé dans la pratique de la pulvérisation de cuivre (WITTEWER et BUKOVAC, 1969) sur l'enrichissement en cuivre de la partie distale, par rapport à la tige, de la quatrième feuille ligulée.

Enfin, nous verrons quelle peut être l'incidence du pH et de la forme de cuivre sur la brûlure de la partie distale de la quatrième feuille occasionnée par le sulfate de cuivre.

Figure 1 - Teneurs en cuivre de la partie aérienne.

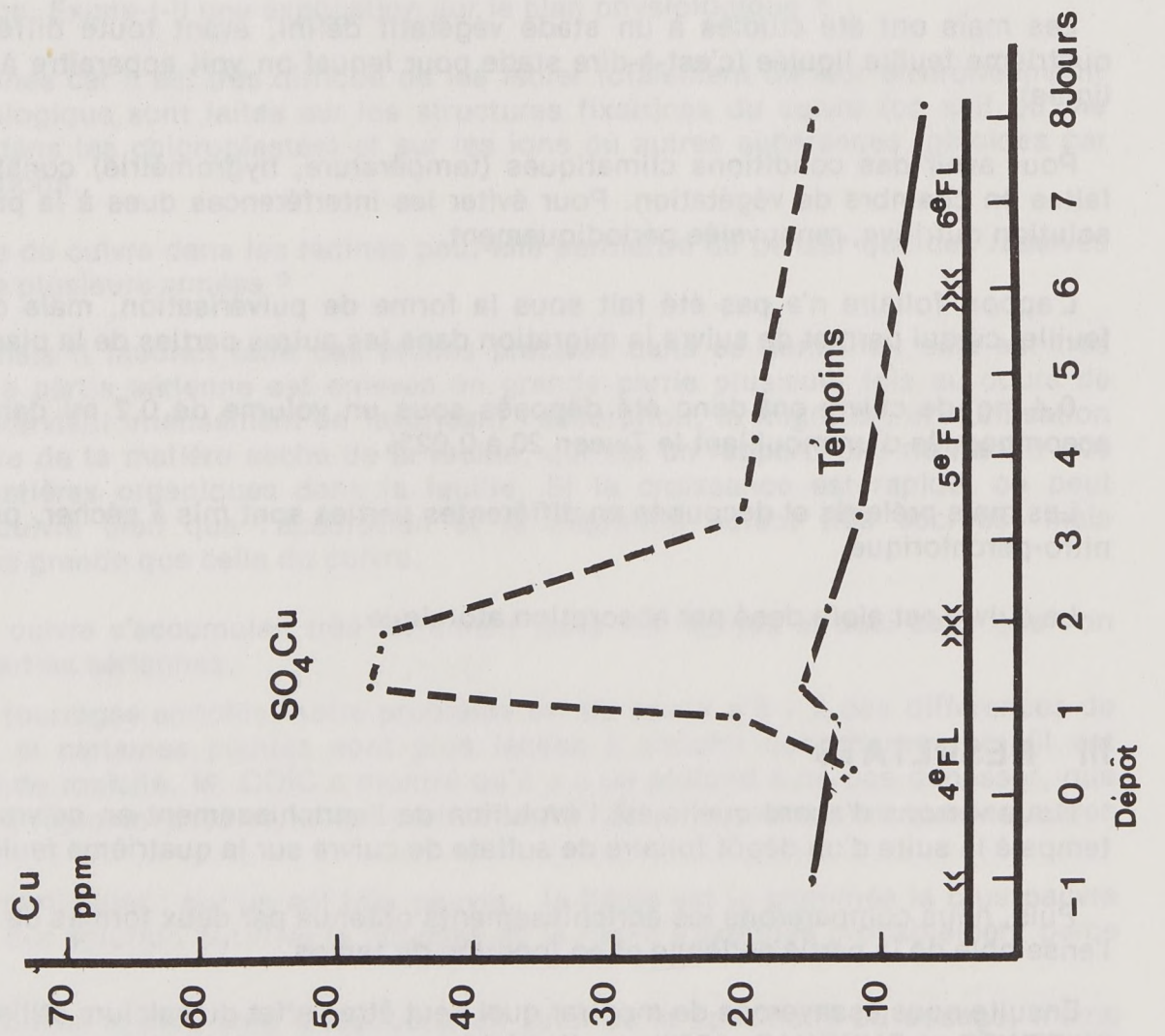
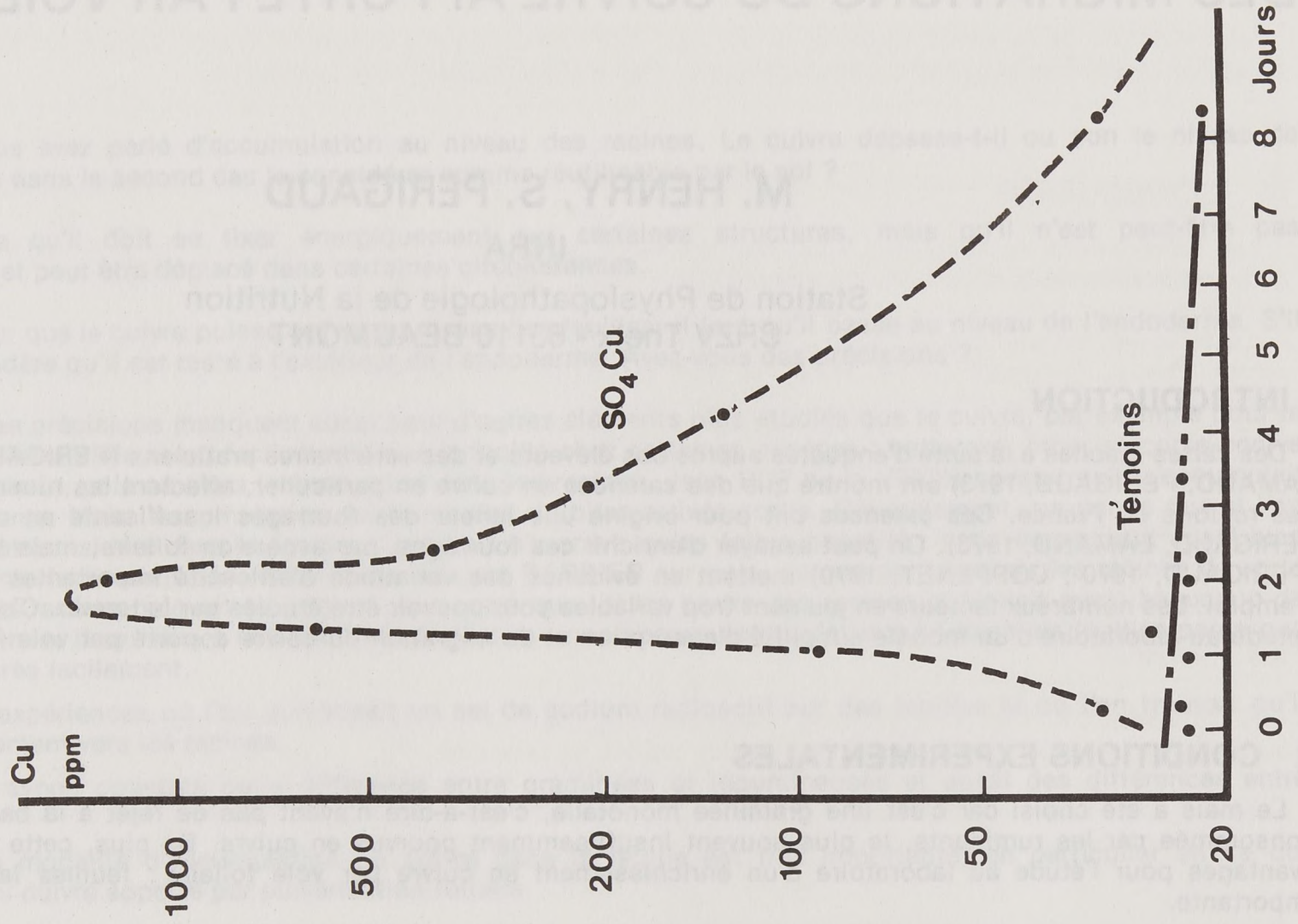


Figure 2 - Teneurs en cuivre de la partie distale (4^e feuille ligulée).



1. - Enrichissement en cuivre du maïs par apport foliaire

Dans une première expérience, nous avons suivi pendant huit jours l'effet d'un apport foliaire localisé de sulfate de cuivre sur l'ensemble de la partie aérienne des maïs (fig. I).

Tout d'abord, on observe sur la courbe des témoins que la teneur en cuivre décroît progressivement en fonction du temps.

Sur la courbe des maïs ayant reçu un apport foliaire de cuivre, on peut voir trois phases distinctes d'évolution de la teneur en cuivre :

- au cours de la première, la teneur augmente pendant 24 à 48 h ;
- dans la deuxième phase, la teneur décroît pendant environ la même durée ;
- dans la troisième phase, la teneur se stabilise à une valeur environ double de celle des témoins.

Le problème s'est posé de savoir dans quelle partie de la plante avait lieu ces phases d'enrichissement successives. L'analyse des différentes parties aériennes a montré que seule la partie distale de la feuille traitée était responsable de l'apparition des deux premières phases.

Dans la figure II, la courbe des maïs traités montre un enrichissement très important de l'ordre 1,2 mg Cu/g MS au bout de 48 h puis un retour à la valeur des témoins jusqu'à 8 jours. La feuille est alors brûlée dans sa partie distale.

Parallèlement, le cuivre est distribué dans l'ensemble de la plante et la teneur se maintient à une valeur supérieure à celle des témoins.

Ces trois phases dans le déroulement de l'enrichissement en cuivre de l'ensemble de la partie aérienne, ont été retrouvées dans plusieurs autres essais, notamment lors d'une comparaison entre trois niveaux en cuivre de la solution nutritive (5, 50, 500 µg Cu/l).

On a observé que la teneur en cuivre des maïs témoins augmente en fonction de la concentration en cuivre de la solution nutritive. Par contre, l'enrichissement maximum obtenu sur les maïs traités est comparable, quelle que soit la concentration de la solution nutritive.

Dans les essais précédents, nous avons parfois observé des brûlures sur la partie distale des feuilles traitées et obtenu en même temps des concentrations en cuivre très élevées, toxiques pour l'animal. Pour éviter ces inconvénients, nous avons essayé de préciser l'influence de la composition de la solution d'apport de cuivre.

2. - Comparaison entre les apports foliaires de cuivre sous forme oxyde et sulfate

Les figures III et IV montrent qu'au bout de 24 h, le cuivre sous forme oxyde enrichit environ 20 fois moins que le sulfate de cuivre, la partie distale de la quatrième feuille ligulée sur laquelle est fait le dépôt.

Mais cette partie distale n'est pas brûlée comme par le sulfate.

Au-delà de 96 h, et dans les conditions choisies, l'enrichissement en cuivre de l'ensemble de la partie aérienne est bien moindre (d'environ 50%) pour l'oxyde que pour le sulfate (tableau I).

3. - Effet du calcium sur l'enrichissement en cuivre de la feuille ayant reçu le dépôt

L'expérience est réalisée, dans des conditions d'hygrométrie basse (40 à 50% HR). Au sulfate de cuivre 31,7 mM, a été additionné soit du nitrate, soit du chlorure de calcium 0,5 mM, ces sels ayant une hygroscopicité différente. Ces traitements ont été comparés à un apport de sulfate de cuivre 31,7 mM auquel on a ajouté, dans un lot 0,2 ml d'eau après séchage du dépôt. Les prélèvements sont effectués au bout de 24 heures.

L'apport des deux sels de calcium (chlorure et nitrate) à la solution de sulfate de cuivre, montre uniquement un effet significatif dans le cas du chlorure, plus hygroscopique que le nitrate (tableau II).

Pour la partie centrale de la feuille, c'est-à-dire la partie ayant reçu le dépôt et qui a été lavée du cuivre superficiel restant, ce traitement par le chlorure provoque le même effet qu'un apport de sulfate de cuivre dont on a prolongé le temps de séchage : le calcium semble donc favoriser l'enrichissement en cuivre par l'hygroscopicité de ses sels.

Pour la partie distale de la feuille, l'effet significatif du chlorure de calcium ne se maintient pas, et l'effet de prolongation du temps de séchage de la solution non plus.

4. - Influence du pH sur la brûlure de la partie distale de la quatrième feuille

L'expérience a consisté en une comparaison des brûlures de la partie distale de la quatrième feuille, occasionnée par le dépôt :

Figure III - Dépôt de sulfate de cuivre sur la partie distale.

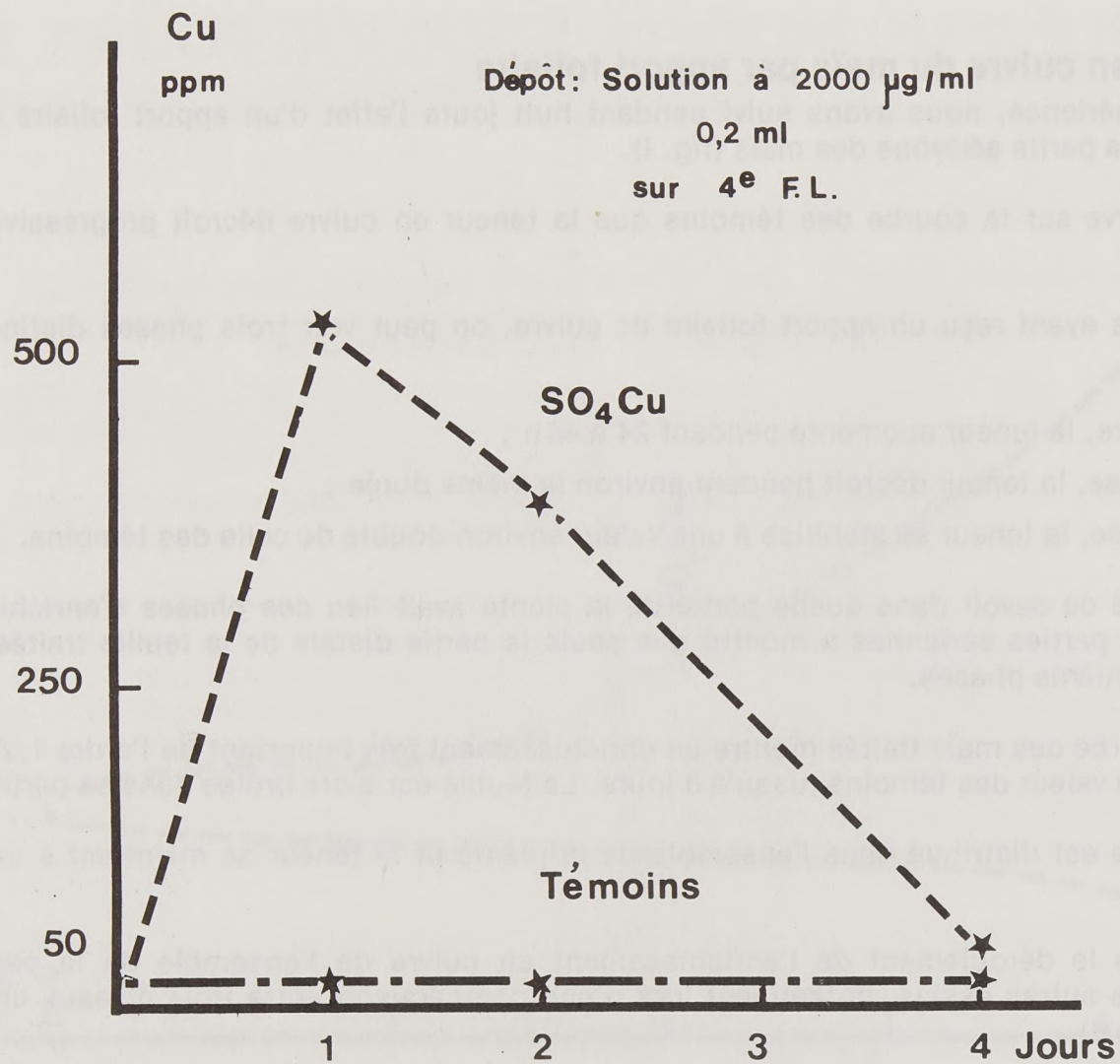
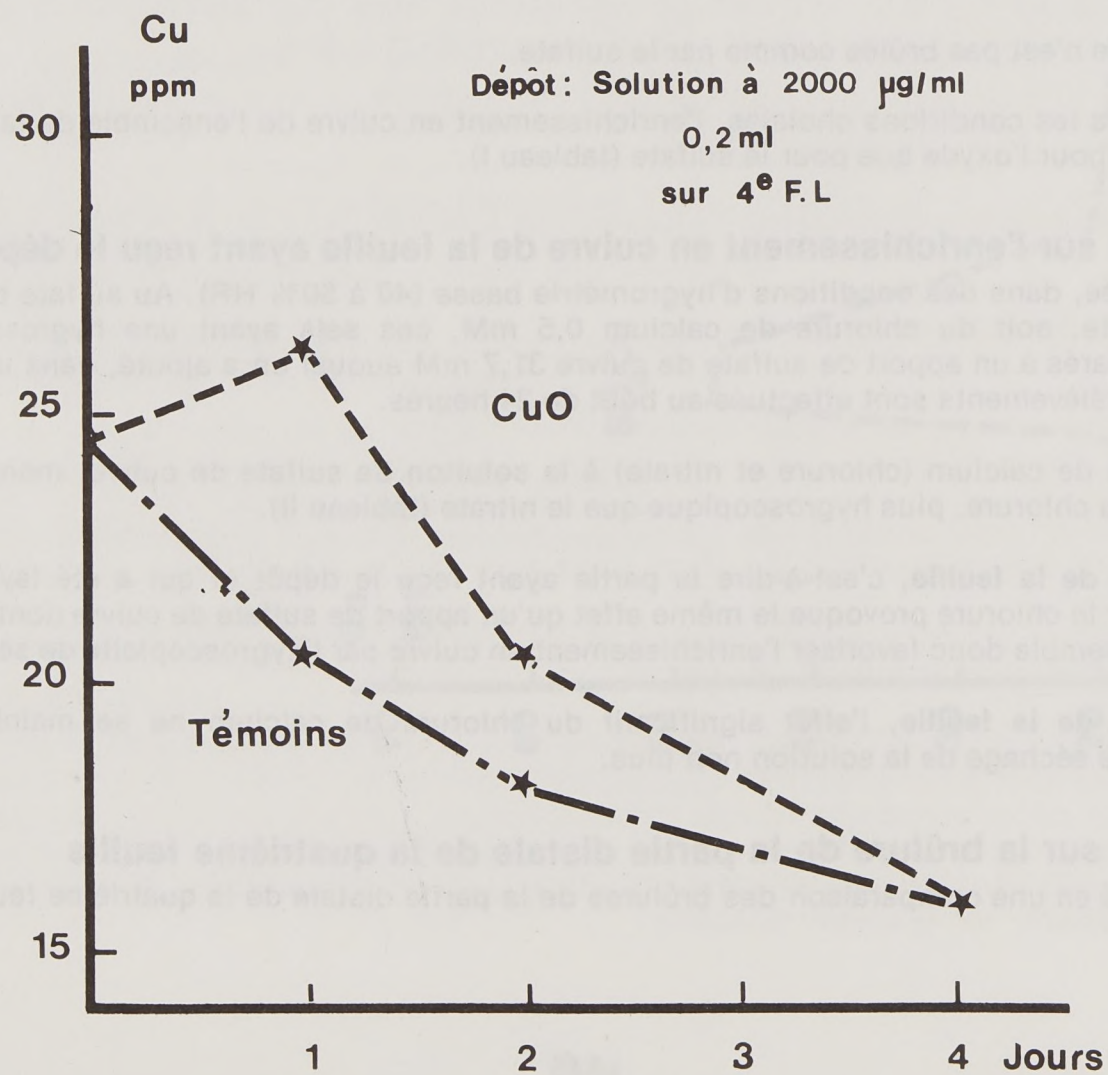


Figure IV - Dépôt d'oxyde de cuivre sur la partie distale.



- de sulfate de cuivre 31,7 mM à pH 4,6
- de deux autres sels de cuivre 31,7 mM : - l'acétate soluble (pH 3 et 6)
- le tartrate insoluble, (pH 3 et 6).

Les résultats obtenus au bout de 72 h, peuvent se résumer ainsi :

- comparaison CuSO₄ à acétate de cuivre à 2 pH (formes solubles).
 - a) la brûlure est plus intense à pH 3 qu'à pH 6.
 - b) la brûlure occasionnée par le sulfate à pH 4,6 est intermédiaire entre celles obtenues à pH 3 et 6 avec acétate.
- comparaison CuSO₄ (soluble) au tartrate à 2 pH (insoluble).
 - a) la brûlure est plus intense à pH 3 qu'à pH 6.
 - b) le sulfate de cuivre sous forme soluble est plus caustique que le tartrate insoluble même à pH 3.

En résumé : l'élévation de pH de 3 à 6 atténue la brûlure.
la brûlure est plus intense pour les formes solubles que pour les formes insolubles.

TAB. I Comparaison sulfate-oxyde de cuivre

	48 heures			96 heures		
Quatrième F.L. Partie proximale	CuSO ₄ 16,6 ± 11,0	Témoins 11,5 ± 1,8	CuO 12,1 ± 1,0	CuSO ₄ 11,6 ± 0,1	Témoins 11,3 ± 1,0	CuO 8,3 ± 0,1
Quatrième F.L. Partie distale	400 ± 430	18,0 ± 0,4	20,3 ± 1,8	51,8 ± 10,0	15,8 ± 1,3	15,6 ± 0,9
Tiges	4,0 ± 0,6	4,8 ± 0,9	5,0 ± 0,4	4,3 ± 0,1	2,2 ± 0,5	3,8 ± 0,5
Feuilles inférieures	16,5 ± 6,0	1,7 ± 3,5	17,1 ± 2,5	52,7 ± 27,4	14,4 ± 1,3	13,3 ± 0,3
Feuilles supérieures	8,3 ± 0,5	8,5 ± 1,1	9,5 ± 1,0	8,8 ± 1,2	4,3 ± 0,2	6,7 ± 0,4

Légende : (teneurs en cuivre µg Cu/g MS) - F.L. : feuille ligulée
Différences significatives :
↔ P < 0,05
↔ / P < 0,01
↔ // P < 0,005
↔ /// P < 0,001
(Test t)
(Moyennes de 4 échantillons).

TAB. II Effet de la forme de calcium sur l'enrichissement en cuivre par voie foliaire

	Sans calcium	Ca (NO ₃) ₂	CaCl ₂	Eau après séchage
Partie centrale	15,21	30,34	47,10	46,90
Partie distale	12,53	23,12	37,58	19,92

(Quantités de cuivre en µg - Moyenne de 8 échantillons).
Effet de la dose de cuivre F = 515 P < 0,001 (test F).
Différences significatives (test t) ↔ P < 0,05.

BIBLIOGRAPHIE

- BELLANGER J., PERIGAUD S., LAMAND M., 1973. Carences en oligoéléments chez les ruminants en France. III. Eléments d'enquête obtenus par les analyses de fourrages. Ann. Rech. Vétér., **4**, 565-598.
- COPPENET M., 1970. Effet des sels de cuivre et de cobalt sur l'enrichissement des plantes fourragères en ces deux oligoéléments. C.R. Acad. Agric. Fr., **LVI**, (13), 923-936.
- HENRY M., 1974. Contribution à l'étude de la migration et de la distribution du cuivre, apporté par voie foliaire chez le maïs (Zea Mays L.) en vue d'un enrichissement en cuivre des parties aériennes. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Clermont-Ferrand, 54 pages.
- HENRY M., 1974. Effet du calcium sur l'enrichissement en cuivre du maïs (Zea Mays L.) par apport foliaire localisé. Comptes-rendus Acad. Sci., série D (voir suite), **279**, 1761-1764.
- LAMAND M., PERIGAUD S., 1973. Carences en oligoéléments chez les ruminants en France. I. Eléments d'enquête obtenus dans la pratique vétérinaire. Ann. Rech. Vétér., **4**, 513-534.
- PERIGAUD S., 1970. Les carences en oligoéléments chez les ruminants en France. Leur diagnostic. Les problèmes soulevés par l'intensification fourragère. Ann. Agron., **21**, (5), 635-669.
- PERIGAUD S., LAMAND M., 1973. Carences en oligoéléments chez les ruminants en France. II. Eléments d'enquête obtenus dans les élevages. Ann. Rech. Vétér., **4**, 535-563.
- WITTWER S.M. et BUKOVAC M.J., 1969. The uptake of nutrients through leaf surfaces. Handbuch der Pflanzenernähr. und Dungung K. SCHARRER, H. LINSE ed. Springer-Verlag, New-York, I, 235-261.

DISCUSSION

M. BRICOUT — Envisagez-vous de poursuivre ces essais en faisant des vérifications environ deux mois après l'application ? La pénétration des oxydes et des sulfates est en effet différente. Pour les sulfates, 70% de l'apport se retrouve dans la plante en 24-48 heures puis ensuite la chute est très rapide. Par contre, avec les oxydes, dans les premières 24 h., on trouve rarement plus de 25% de l'apport. La pénétration plus lente, s'échelonne sur deux mois. Il serait intéressant de vérifier ce fait. On s'apercevrait que sur un maïs ensilage, on aurait des enrichissements plus tangibles en période de récolte avec l'oxyde qu'avec le sulfate.

M. HENRY — L'étude de maïs au laboratoire, au-delà d'un certain stade, pose des problèmes à plusieurs niveaux. D'une part, des problèmes de connaissance du stade végétatif et du stade reproducteur et d'autre part la variation due au maïs est beaucoup plus importante au fur et à mesure que la plante grandit. Les travaux faits ici sur des teneurs en cuivre comparées aux témoins risquent de perdre beaucoup de leur signification lorsqu'on travaille à des temps plus éloignés du dépôt foliaire. Il se pose également un problème pratique : en chambre de végétation, la pousse des maïs à des stades de deux mois est problématique à obtenir sur solutions nutritives.

M. BRICOUT — J'ai voulu parler de pulvérisations au stade 6-8 feuilles et d'une vérification deux mois après. Ce stade 6-8 feuilles correspond au dernier stade où une pulvérisation mécanique est encore possible.

M. HENRY — Déjà le fait de pulvériser sur des maïs ayant 6-8 feuilles est relativement difficile dans une chambre de végétation. D'autre part, la croissance dans les deux mois qui suivent ce dépôt pose des problèmes au point de vue entretien de la solution nutritive et il faut suffisamment de répétitions pour faire une comparaison. Il faut vraiment un grand phytotron comme celui de GIF/YVETTE pour faire une telle expérimentation et elle deviendrait très coûteuse. D'autre part, nous n'envisageons pas une poursuite au-delà du stade que nous avons étudié. Mais je crois que, pour d'autres plantes, Mme PERIGAUD a montré que les teneurs décroissent en fonction du temps donc pour le maïs il doit en être de même.

Mme PERIGAUD — Par votre question, M. BRICOUT, vous touchez le problème fondamental de la transposition de l'essai au laboratoire à l'essai au champ. Nous avons fait des essais au champ, nous avons buté sur un certain nombre de problèmes car il y a trop de variabilité, trop de facteurs divers. Seul l'essai en laboratoire permet de sérier les facteurs mais on ne peut pas extrapoler intégralement au champ les résultats ainsi obtenus. Les essais en laboratoire ont montré qu'il y avait un enrichissement de la plante avec une métabolisation certaine de ce cuivre absorbé. Les essais au champ apportent moins de résultats : au champ, on fait une pulvérisation foliaire qui recouvre toute la plante et quand on fait le dosage de la partie aérienne traitée à l'oxyde de cuivre on ne peut dire si l'on dose de l'oxyde de cuivre ou du cuivre métabolisé dans la plante. Les travaux réalisés par HENRY sont intéressants car ils montrent que le cuivre apporté sous forme d'oxyde est bien absorbé par la plante. Je suis d'accord : il faudrait pouvoir allonger les temps de contrôle. Avec deux ou trois jours de

plus, on aurait certainement pu montrer que l'enrichissement par l'oxyde se poursuivait. Je vous rappelle que des essais au champ menés comparativement avec le sulfate et l'oxyde ont montré que le sulfate se trouve rapidement éliminé même sans pluie : le sulfate pénètre dans la plante. On a pu prouver ce fait en dosant les eaux de lavage de la plante. Par contre, lorsqu'il s'agit de l'oxyde, on retrouve, un mois et demi après l'apport, des teneurs très supérieures à celles des témoins. Etant donné que dans l'intervalle il y a eu une pousse considérable de l'herbe, il y a un rapport entre enrichissement et apport qui est très important. On a tout lieu de penser qu'il n'existe plus de cuivre à l'état d'oxyde et qu'il s'agit bien de cuivre absorbé. Mais pour l'instant on ne peut pas être très affirmatif. Il faut reprendre des essais sur les formes biochimiques du cuivre dans la plante.

M. BRICOUT — Il y a beaucoup plus d'espoir avec la forme oxyde quand on s'adresse à des maïs qu'on pulvérise longtemps avant la récolte.

M. JOURDAN — Il faudrait peut-être s'entendre sur le terme de métabolisé. Mme PERIGAUD l'a déjà prononcé et l'on a soulevé le problème pour les racines. On peut se demander si le cuivre est fixé uniquement au niveau des cires épicuticulaires ou s'il pénètre dans la cuticule voire dans les cellules sous-épidermiques. C'est un problème à étudier.

M. HENRY — Il y a le problème du rôle métabolique à l'intérieur de la plante. De par ses propriétés chimiques, le cuivre peut être chélaté par beaucoup de molécules riches en hétéro-atomes comme l'azote, l'oxygène et le soufre et qui fixent le cuivre au niveau des racines. M. SALZAC a montré, au niveau des racines que le cuivre est fixé à l'extérieur de l'endoderme, dans la partie où la plante est riche en acides uroniques qui fixent le cuivre par les groupements COO^- . A l'intérieur de la plante, nous avons des protéines riches en hétéro-atomes qui fixent également le cuivre et le maintiennent pour l'empêcher d'être toxique. Ceci a été montré en particulier sur des plantes poussant sur des terrains très riches en cuivre et qui peuvent survivre grâce à la présence de ces acides aminés et petits polypeptides qui permettent de complexer le cuivre. C'est le cas de *Becium Homblei*, une labiée originaire de Zambie. D'autre part, le cuivre a une flexibilité de ses états ioniques qui lui permet ses réactions catalytiques à l'intérieur de la plante (polyphénoloxydase, acide ascorbique oxydase, plastocyanine, cytochrome A + A₃).

M. COÏC — Il est évident que les matières pectiques ou les acides polyuroniques de la paroi cellulaire sont des substances très importantes pour fixer les cations.

M. HENRY — BRODA a montré que le cuivre est fixé essentiellement par les parois pectocellulosiques, c'est ce qui lui permet d'être accumulé à l'intérieur des racines.

M. JOURDAN — On a vu que le cuivre ne migrerait que lentement dans la plante. On peut penser que le cuivre serait fixé par un phénomène simple d'absorption au niveau des cires cuticulaires et qu'ensuite, il servirait de réservoir et qu'il migrerait plus lentement dans la plante.

M. HENRY — Il y a aussi en plus de l'adsorption le phénomène d'association saline entre les groupements carboxyles et le cuivre. Le xylème qui est le lieu de transport de la sève brute est riche en matières uroniques et le transport à l'intérieur de la plante se trouve freiné par ces matières et le cuivre est de loin en loin fixé et élué comme sur une résine échangeuse d'ions. C'est pourquoi le cuivre ne migre pas aussi rapidement que les monovalents (Na et K).

M. SAUVANT — Le maïs étant utilisé sous forme d'épis ou de grains, quelles sont les conséquences de vos pulvérisations sur la composition en oligoéléments de ces grains ou épis ?

M. HENRY — Pour l'instant, je n'ai aucune expérience à ce sujet. En général, le grain de maïs est pauvre. On a des teneurs de l'ordre de 2 ppm.

M. JUSTE — Avez-vous envisagé l'utilisation de certains vecteurs comme le DMSO pour faciliter la pénétration du cuivre ?

M. HENRY — Un programme est actuellement en cours, qui groupe l'I.N.R.A. et le C.E.A. sur ce problème du DMSO et des adjuvants mouillants qui permettent la pénétration du cuivre et sa fixation à la surface.

M. JOURDAN — Le DMSO a tellement d'action que nous l'avons éliminé comme adjuvant pour faciliter la pénétration du cuivre. Après dépouillement des publications, nous avons porté notre choix sur les Tween 20 et 80 et le Vatsol.



IMPORTANCE DU MOLYBDENE ET DE CERTAINS AMENDEMENTS RICHES EN OLIGO-ELEMENTS SUR LE DEVELOPPEMENT ET LA QUALITE DE LA LUZERNE : UTILISATION EN VUE DE L'ALIMENTATION ANIMALE

C. JUSTE

INRA

Station d'Agronomie, C.R. Bordeaux
33140 PONT DE LA MAYE

Depuis la mise en évidence, par ARNON et STOUT (1939), du caractère indispensable du molybdène pour les végétaux supérieurs, un nombre considérable de travaux ont été consacrés à l'étude de cet oligo-élément qui offre l'originalité, comme on le sait, d'être contrairement aux autres, difficilement assimilable en milieu acide.

Si la carence en cet élément se traduit par des symptômes bien caractéristiques sur Chou-fleur (BUSSLER, 1970), Maïs (DIOS et al, 1965) et Citrus (STEWART et al, 1952), pour la plupart des autres cultures la carence en molybdène ne peut être révélée que par un aspect plus ou moins chlorotique des plantes et surtout par une forte augmentation des rendements lorsqu'on ajoute au sol des quantités relativement restreintes de sels molybdiques. La correction de la carence en molybdène est particulièrement spectaculaire dans le cas des légumineuses.

Un grand nombre de travaux - qu'il n'est pas question de passer en revue au cours de cet exposé - ont été réalisés en matière de traitement des carences en molybdène des légumineuses. Disons simplement que l'application de faibles doses de sels de molybdène (généralement molybdate de sodium ou d'ammonium) permet souvent de multiplier par deux ou trois les rendements de ce genre de culture (GUPTA et al., 1968), d'augmenter la teneur en azote total et en chlorophylle de la plante, et de diminuer la concentration en nitrates (ARENS et al., 1973 ; BURKIN, 1971). La modification du rendement et de la qualité des légumineuses à la suite de l'application de composés du molybdène s'accompagne toujours d'une élévation importante de la teneur en molybdène du végétal : les légumineuses auraient donc une aptitude particulière à absorber et à accumuler le molybdène mis à leur disposition, beaucoup plus facilement que les graminées (BARSHAD, 1948 ; JAOUICH et al., 1971). On sait que le molybdène est un élément indispensable pour les processus de fixation de l'azote par les rhizobiums des nodosités et il est probable selon PIPER et al. (1949) que l'essentiel de l'effet spectaculaire souvent observé à la suite de l'application de cet oligo-élément est dû à cette action spécifique sur la fixation symbiotique de l'azote, la fraction utilisée par la plante pour son propre métabolisme ne représentant qu'une très faible partie de la quantité du molybdène appliqué.

Les apports de molybdène se révèlent efficaces surtout en sols acides, dans lesquels on peut d'ailleurs provoquer une atténuation, voire une disparition, de la carence en appliquant de la chaux : on a donc la plupart du temps à faire à une carence induite, l'anion molybdique étant énergiquement retenu par les hydroxydes d'aluminium et surtout par les hydroxydes de fer, dont l'activité est particulièrement grande en sol acide ; la chaux interviendrait en déplaçant les anions molybdiques ainsi fixés par les hydroxydes de la base mais il n'est pas exclu, d'après RATNER et al. (1962), que dans les sols fortement acides, le molybdène intervienne en diminuant la phytotoxicité de l'aluminium libre. En fait, Didier BERTRAND et de WOLF ont montré (1962, 1963) que de nombreux sols français réagissaient fortement à des apports de molybdène, même quand leur pH était éloigné de la zone acide, des applications de l'ordre de 150 g/ha de molybdène pouvant augmenter le rendement de la Luzerne de 64 %.

Nous avons pu nous-mêmes, au cours d'une série d'expériences mises en place dans différents types de sols argilo-calcaires des Charentes, pédologiquement définis comme rendzines grises et qui se développaient sur le Campanien (tableau I), mettre incidemment en évidence l'existence de carences en molybdène sur Luzerne (JUSTE et al., 1971 ; DELAS et al., 1972 et 1973 ; MENET et al., 1974), carences qui ont pu être décelées grâce à l'action spectaculaire exercée par l'application de molybdate d'ammonium sur des luzernières nouvellement implantées.

Depuis plusieurs années en effet on avait constaté un dépérissement ou de graves difficultés d'implantation de la Luzerne dans certains secteurs de Charente ou de Charente-Maritime ; on avait observé également que l'incorporation au sol d'un déchet de l'industrie du gaz d'éclairage, le crude ammoniac, permettait l'installation et le développement normal des plantes. Nous nous sommes donc attachés, dans un premier stade, à rechercher le ou les constituants de ce déchet industriel qui pouvait agir de manière aussi spectaculaire sur la production de la Luzerne. Compte tenu de la teneur élevée du crude ammoniac en soufre (tableau II), nous avons pensé tout d'abord à la possibilité d'une carence en soufre : les essais réalisés en vases de végétation ou en plein champ, essais que nous ne relaterons pas ici, nous ont montré effectivement qu'il y avait, dans certains cas, une carence en soufre dans ces sols ; mais l'action de cet élément, apporté

sous différentes formes à des doses équivalentes à celles contenues dans le crude, ne conduisait jamais à des rendements aussi élevés que ceux que permettait d'obtenir le sous-produit (JUSTE et al., 1969). Nous avons donc, dans une phase ultérieure, expérimenté systématiquement un certain nombre d'oligo-éléments contenus en quantités notables dans le crude ammoniac (fer, manganèse) ou susceptibles d'avoir une action importante sur les légumineuses (bore, molybdène), par des tests en plein champ ou en pots. Il s'est avéré rapidement que le molybdène exerçait l'action la plus nette et, à la suite de cette observation, nous avons mis en place des essais plus complexes, soit en vases de végétation soit parallèlement en plein champ, de manière à définir la dose optimum de molybdène à apporter et à mesurer l'interaction éventuelle de cet oligo-élément avec le soufre et les conséquences qui peuvent en résulter sur la composition de la Luzerne. Au cours de ces diverses expériences, les effets exercés par les apports de molybdène et de soufre ont été dans la majorité des cas comparés à ceux exercés par le crude ammoniac ou par un mélange d'oligo-éléments d'origine industrielle, mélange qui, aux dires de certains agriculteurs, provoquait chez la Luzerne des effets comparables à ceux du crude ammoniac.

TAB. I. - Analyse physico-chimique d'un sol de type rendzine grise des Charentes développée sur le Campanien

En p. cent de terre fine séchée à l'air :		pH-eau	7,60
- Argile, (inf. 2 µ)	50,8	C/N	9,4
- Limons fins (2 - 50 µ)	17,2	En p. mille de terre sèche	
- Limons grossiers (20 - 50 µ)	10,5	- Potassium échangeable	0,440
- Sables fins (50 - 200 µ)	4,5	- Calcium "	10,810
- Sables grossiers (200 - 2 000 µ)	5,0	- Magnésium "	0,138
- Matière organique	3,8	- Acide phosphorique assimilable	0,296
- Calcaire total	6,5		

TAB. II - Composition du Crude ammoniac et du mélange d'oligo-éléments (par rapport au produit sec)

Produit analysé	N %	S %	Fe %	Mn %	Cu %	Co mg / kg	Mo mg / kg
Crude ammoniac	3	23	22	0,14	0,04	20	10
Mélange d'oligo-éléments	—	2	7	0,20	2,00	300	5

d'après MENET, TAUZIN, DELAS et JUSTE (1974)

Essais en vases de végétation

Nous ne présenterons ici que les résultats de deux séries d'essais qui nous ont paru les plus représentatifs et qui ont fait l'objet de communications à l'Académie d'Agriculture (JUSTE et al., 1971 ; DELAS et al., 1973). Ces essais ont été réalisés en petits vases de végétation type Chaminade, fortement fertilisés et arrosés à 70 % de leur capacité maximum en eau. Cinq coupes successives de Luzerne ont été réalisées dans chaque cas. Le premier essai (tableau III) montre que si l'application de molybdène ou de soufre exerce un effet bénéfique sur les rendements (augmentation de 40 à 60 %), l'apport simultané de soufre et de molybdène, dans ce type de sol probablement carencé à la fois en soufre et en molybdène, multiplie par 5 les rendements. Cet essai montre d'autre part que si l'épandage de l'équivalent de 200 g de Mo/ha élève fortement la teneur en molybdène, l'apport simultané de soufre et de cet oligo-élément abaisse très sensiblement la concentration de ce dernier dans la plante. En outre, il apparaît clairement que si le mélange d'oligo-éléments exerce une action nettement positive au cours des deux premières coupes, cette action est beaucoup moins nette au cours des coupes suivantes. Notons également que le mélange d'oligo-éléments mais, surtout, le crude ammoniac et l'association molybdène-soufre augmentent très fortement la teneur en azote total de la plante.

Le second essai mis en place sur un autre sol, prélevé dans la même région, conduit à des résultats analogues, avec cependant un simple doublement de la récolte dans le cas d'application simultanée de soufre et de molybdène (tableau IV). Au cours de cet essai, on a pu également constater que les apports, séparés dans le temps, de molybdène et de soufre conduisaient aux mêmes résultats que si ces deux éléments étaient appliqués simultanément (tableau V).

L'action dépressive exercée par le soufre sur l'absorption du molybdène est assez bien connue (STOUT et al., 1951 ; REISENAUER, 1963 ; WILLIAM et al., 1972 ; PASRICHA et al., 1972 ; JONES et al., 1973) en faisant intervenir un antagonisme d'absorption entre l'anion molybdique et l'anion sulfate qui auraient le même encombrement stérique, mais d'autres auteurs font également intervenir une possibilité d'acidification locale par les composés du soufre, ce qui entraînerait un blocage du molybdène. Quoi qu'il en soit, ces expériences démontrent l'intérêt d'applications de soufre et de molybdène, qui permettent, à la fois, de remédier à une carence de ces sols en ces deux éléments et d'autre part de conduire à une diminution de la teneur en molybdène du fourrage, ce qui est évidemment très important sur le plan zootechnique.

TAB. III - **Essai en vases de végétation.** Influence du molybdène, du soufre, du Crude Ammoniac et d'un mélange d'oligo-éléments sur le rendement et la teneur en molybdène, soufre et azote de la Luzerne

Traitement	Production totale (5 coupes) g/pot	Indice de comparaison	Mo (ppm)	N (‰)	S (‰)
- Témoin	3.13	100		28.2	2.9
- Molybdène (200 g/ha)	5.24	167	5.93	33.3	2.1
- Soufre (250 kg/ha) (Sulfate de Ca)	4.43	141	—	27.0	9.3
- Soufre + Molybdène	16.66	531	0.62	41.3	4.4
- Crude-Ammoniac 1100 kg/ha (équiv. de 250 kg de S/ha)	14.57	465	0.03	40.2	5.2
- Mélange oligo- éléments	7.56	241	0.63	34.4	2.1

D'après JUSTE, DELAS et TAUZIN (1971).

TAB. IV - **Essai en vases de végétation.** Influence du molybdène, du soufre, et de l'association Mo-S sur le rendement et la teneur en molybdène, soufre et azote de la Luzerne.

Traitement	Production totale (5 coupes) g/pot	Indice de comparaison	Mo (ppm)	N (‰)	S (‰)
- Témoin	4.49	100	0.22	23.2	1.6
- Molybdène (200 g/ha)	5.42	120	4.95	25.9	1.4
- Soufre (250 kg/ha) (Sulfate de Ca)	6.93	154	0.12	23.7	3.7
- Soufre + Molybdène	9.41	210	2.21	29.6	3.1

TAB. V - **Essai en vases de végétation.** Influence d'apports séparés dans le temps de molybdène et de soufre sur le rendement et la teneur en molybdène de la Luzerne.

Traitement	Production totale 6ème et 7ème coupes (g/pot)	Teneur moyenne molybdène (ppm)
- Molybdène : 200 g/ha avant mise en culture.	1.20	4.1
- Molybdène : 200 g/ha avant mise en culture. + 200 g/ha après la 5ème coupe.	0.82	35.8
- Molybdène : 200 g/ha avant mise en culture. + 50 kg/ha soufre après la 5ème coupe.	4.40	1.4
- Soufre : 250 kg/ha avant mise en culture. + 200 g/ha molybdène après la 5ème coupe.	3.86	5.9

D'après DELAS, JUSTE et TAUZIN (1973).

Essais en plein champ

Nous ne présenterons là encore que les résultats se rapportant aux deux essais les plus représentatifs : l'un implanté à Cressac (Est de Barbezieux) et l'autre à Saint-Martial sur le Né (à l'Ouest de cette même ville).

Le premier essai, implanté en 1970, a comporté neuf traitements répétés quatre fois. Trois coupes ont été effectuées et contrôlées en 1971 et 1972 et deux coupes en 1973. Les traitements suivants ont été appliqués :

- témoin
- crude ammoniac à la dose de 1 500 kg/ha (équivalent à 300 kg de soufre/ha)
- soufre : 300 kg S/ha, sous forme de sulfate de calcium
- mélange d'oligo-éléments à la dose de 800 kg/ha
- 2 500 kg/ha de sulfate de fer (équivalent à 300 kg/ha de S)
- 200 g/ha de molybdène, sous forme de molybdate d'ammonium
- 400 g/ha de molybdène, sous forme de molybdate d'ammonium
- 400 g de Mo/ha + 300 kg S/ha
- 15 kg/ha de chélat de fer (E.D.D.H.A.).

Le crude ammoniac, les deux doses de molybdène, l'association soufre-molybdène et le mélange d'oligo-éléments conduisent à une augmentation de rendement de l'ordre de 50 % environ (tableau VI). Ce sol ne répond donc manifestement pas à un apport de soufre. En ce qui concerne l'influence des différents traitements sur la composition de la Luzerne (tableau VII), on constate que le crude ammoniac, le molybdène et le mélange d'oligo-éléments entraînent une forte élévation de la teneur en azote ; les applications de molybdène conduisent à une forte augmentation de la teneur de la Luzerne en cet élément mais, à la dose de 400 g/ha, on peut noter qu'à chaque coupe l'application de soufre diminue la concentration en molybdène, dans une moindre mesure cependant que ce qui a été observé au cours des essais en vases de végétation.

TAB. VI - Essai de Cressac - Rendement de la Luzerne (en kg/ha de M.S., moyenne des 4 répétitions)
D'après MENET et al. (1974).

Traite- ments	1971			1972			1973		Récolte totale	Indice comp.
	1° coupe	2° coupe	3° coupe	1° coupe	2° coupe	3° coupe	1° coupe	2° coupe		
1 T	3 073 a	1 877 a	1 443 a	3 267 a	3 376 a	1 690 ab	3 978 a	1 368 ab	20 072	100
2 C	4 581 ab	2 848 bc	2 229 b	4 636 b	5 078 b	2 335 c	5 968 b	1 862 bc	29 537	147
3 S	3 453 a	1 850 a	1 503 a	2 902 a	2 954 a	1 538 a	3 401 a	1 250 a	18 851	93
4 Mo 200	4 488 bc	2 523 ab	2 437 b	4 704 b	5 529 b	2 452 c	6 484 b	1 960 c	30 577	152
5 Mo 400	5 005 c	3 189 bc	2 299 b	4 589 b	5 253 b	2 167 bc	6 105 b	1 835 bc	30 442	151
6 S + Mo 400	4 880 c	3 384 c	2 178 b	4 560 b	5 318 b	2 229 bc	6 191 b	1 873 bc	30 613	152
7 O	4 864 c	3 048 bc	2 376 b	4 428 b	5 509 b	2 253 c	6 302 b	2 021 c	30 801	153
8 Fe ₁	2 908 a	1 782 a	1 507 a	2 834 a	2 653 a	1 345 a	2 784 a	939 a	16 752	83
9 Fe ₂	3 695 ab	2 589 abc	1 673 a	3 253 a	3 756 a	1 437 a	3 731 a	1 297 a	21 431	106

Les valeurs qui ne sont pas suivies de la même lettre diffèrent significativement au seuil de 5 %.

Le second essai, mis en place en 1971, comporte les mêmes traitements mais on a ajouté un traitement manganèse (3 kg/ha d'oxyde de manganèse) et on a réduit les doses de molybdène appliquées à 100 et 200 g/ha. Cet oligo-élément a été épandu en pulvérisation, aussitôt après la coupe de régularisation de janvier 1972. Trois coupes ont été effectuées et contrôlées en 1972 et 1973. Dans ce cas là encore (tableau VIII), on assiste à un doublement des rendements en matière sèche quand on applique du crude ammoniac, du molybdène 100 et 200 g/ha ou le mélange d'oligo-éléments. Contrairement à l'essai précédent, l'apport de soufre seul s'avère efficace et entraîne une augmentation des rendements de l'ordre de 40 %.

En ce qui concerne l'influence des traitements sur la composition de la Luzerne (tableau IX), on observe toujours une action très nette des facteurs d'amélioration du rendement (molybdène, crude ammoniac, mélange d'oligo-éléments) sur la teneur en azote total de la plante. On constate également, une fois de plus, que les applications de molybdène donnent lieu à une élévation substantielle de la teneur en molybdène du fourrage, la dose de 100 g/ha conduisant cependant à des teneurs beaucoup plus faibles que celles résultant de l'application de 200 g/ha. L'ensemble de ces essais confirme donc bien qu'il est possible, dans les sols argilo-calcaires des Charentes où la luzerne présente des difficultés d'implantation et de croissance, de résoudre ces difficultés en appliquant l'une des trois solutions suivantes :

- 1 - Apport de crude ammoniac à la dose de 1 500 kg/ha (l'utilisation de ce sous-produit devient de plus en plus problématique en raison de difficultés croissantes d'approvisionnement).
- 2 - Apport d'un mélange d'oligo-éléments, à la dose de 800 kg/ha.
- 3 - Apport de molybdène à la dose de 100 g/ha, associé de préférence à un apport de soufre, ce qui permet de réduire la teneur en molybdène de la plante.

Cette augmentation de rendement s'accompagne toujours d'une élévation de la teneur en azote total de la plante, ce qui fait qu'au total la production à l'unité de surface de matières azotées digestibles se trouve fortement augmentée, dans des proportions allant selon le cas de 1 à 2 ou de 1 à 3 (tableau X).

TAB. VII - Essai de Cressac - Analyse de la Luzerne (moyenne annuelle, moyenne des 4 répétitions)
D'après MENET et al. (1974).

Traitements	1971			1972			1973		
	N‰	S‰	Mo ppm	N‰	S‰	Mo ppm	N‰	S‰	Mo ppm
1 T	32,5 a	3,53 bc	0,15 a	20,3 a	2,83 b	0,10 a	27,2 a	2,76 ab	0,08 a
2 C	43,7 c	4,35 d	—	25,3 b	2,95 bcd	0,10 a	31,3 b	2,95 bc	—
3 S	34,1 a	4,34 d	—	19,9 a	3,22 d	0,12 a	27,8 a	3,02 cd	—
4 Mo 200	42,9 c	2,99 a	6,06 b	27,0 b	2,32 a	2,35 b	32,7 b	2,66 a	1,93 b
5 Mo 400	43,0 c	3,39 b	9,66 c	26,6 b	2,27 a	3,59 c	32,1 b	2,60 a	3,91 c
6 S+ Mo 400	44,2 c	3,79 c	8,02 b	26,8 b	2,45 a	3,44 c	32,0 b	2,74 ab	3,27 d
7 O	42,6 c	3,03 a	—	27,4 b	2,28 a	0,18 a	32,0 b	2,68 ab	—
8 Fe ₁	33,2 a	4,49 d	—	20,8 a	3,16 cd	0,05 a	26,1 a	3,24 d	—
9 Fe ₂	38,3 b	3,61 bc	—	21,8 a	2,91 bc	0,09 a	—	—	—

Les valeurs qui ne sont pas suivies de la même lettre diffèrent significativement au seuil de 5%.

TAB. VIII - Essai de St-Martial sur le Né - Rendement de la luzerne (en kg/ha de M.S., moyenne des 4 répétitions)
D'après MENET et al. (1974).

Traitement	1972			1973			Récolte totale	Indice compa.
	1° coupe	2° coupe	3° coupe	1° coupe	2° coupe	3° coupe		
1 T	1 569 ab	1 198 a	846 a	2 664 ab	971 ab	828 a	8 076 a	100
2 C	4 002 d	3 339 cd	2 043 d	4 994 d	3 294 c	2 415 b	20 087 e	248
3 S	2 401 c	1 700 b	1 259 b	3 537 abcd	1 484 b	1 306 a	11 687 c	144
4 Mo 100	3 898 d	3 054 c	1 860 cd	4 727 d	3 421 c	2 256 b	19 216 de	237
5 Mo 200	3 893 d	3 093 c	1 789 c	4 727 d	2 943 c	2 219 b	18 664 d	231
6 S+ Mo 200	4 331 d	3 693 d	2 017 cd	4 210 bcd	3 328 c	2 321 b	19 900 de	246
7 O	3 854 d	3 446 cd	1 863 cd	4 499 cd	2 977 c	2 204 b	18 843 de	233
8 Fe ₁	1 903 b	1 420 ab	914 ab	2 959 abc	1 242 ab	1 107 a	9 545 b	118
9 Fe ₂	1 162 a	1 139 a	763 a	2 263 a	926 a	797 a	7 050 a	87
10 Mn	2 143 c	1 612 b	1 092 b	2 853 abc	1 277 ab	1 190 a	10 167 b	125

Les valeurs qui ne sont pas suivies de la même lettre diffèrent significativement au seuil de 5%.

TAB. IX - Essai de St-Martial sur le Né - Analyse de la Luzerne (Moyenne annuelle - Moyenne des 4 répétitions)

D'après MENET et al. (1974)
Résultats exprimés par rapport à la M.S.

Traitements	1972			1973		
	N ‰	S ‰	Mo ppm	N ‰	S ‰	Mo ppm
1 T	21,2 b	2,93 c	0,05 a	27,5 a	3,56 c	0,08 a
2 C	25,1 c	3,17 c	0,08 a	34,0 b	3,18 b	—
3 S	21,6 b	3,48 d	0,05 a	29,3 a	3,73 c	—
4 Mo 100	28,0 d	2,02 a	1,47 b	34,3 b	2,40 a	0,81 b
5 Mo 200	28,2 d	1,97 a	4,97 c	35,4 b	2,51 a	1,81 c
6 S + Mo 200	29,5 e	2,55 b	3,09 c	34,0 b	3,15 b	1,79 c
7 O	25,7 c	2,12 a	0,10 a	33,0 b	2,56 a	—
8 Fe ₁	21,6 b	3,65 d	0,04 a	27,5 a	4,08 d	—
9 Fe ₂	20,1 a	—	0,06 a	—	—	—
10 Mn	22,2 b	—	—	—	—	—

Les valeurs qui ne sont pas suivies de la même lettre diffèrent significativement au seuil de 5 %.

TAB. X - Influence des apports au sol de crude ammoniac, de soufre, de molybdène et d'un mélange d'oligo-éléments sur la production de matière azotée digestible

D'après MENET et al. (1974)
(Essais de Cressac et de St-Martial sur le Né)

Traitement	MATIERE AZOTEE DIGESTIBLE				UNITES FOURRAGERES/HA	
	Cressac (8 coupes)		St-Martial (6 coupes)		Cressac (8 coupes)	St-Martial (6 coupes)
	kg/ha	Indice	kg/ha	Indice		
1 T	1 664	100	503	100	11 842	4 764
2 C	3 448	206	1 729	343	17 427	11 851
3 S	1 568	94	794	157	11 122	6 895
4 Mo 200	3 831	230	—	—	18 041	—
100	—	—	1 733	344	—	11 337
5 Mo 400	3 708	222	—	—	17 962	—
200	—	—	1 754	348	—	11 011
6 S + Mo 200	3 799	228	—	—	18 062	—
400	—	—	1 643	326	—	11 741
7 O	3 807	228	1 551	308	18 173	11 117
8 Fe ₁	1 346	80	614	122	9 883	5 631

Discussion des résultats

Ces résultats nous amènent cependant à nous poser deux questions : la première a trait au mécanisme qui est à l'origine de l'effet bénéfique observé à la suite de l'épandage du crude ammoniac et du mélange d'oligo-éléments. S'il est certain en effet que l'amélioration due à l'application du molybdène résulte de l'absence ou d'un blocage de cet élément dans ces types de sols par un mécanisme que nous ignorons (les teneurs en molybdène dit assimilable de différents échantillons de sols analysés par nous sont de l'ordre de 0,040 ppm, exception faite du sol de Cressac qui contient 0,140 ppm, c'est-à-dire à un niveau nettement inférieur au seuil de carence de 0,2 ppm défini par CHENG et OUELLETTE (1973), il est plus difficile d'expliquer l'action du crude ammoniac et du mélange d'oligo-éléments qui contiennent de faibles quantités de molybdène et qui n'entraînent pas de variation de la teneur en cet oligo-élément chez la Luzerne. Si l'on se réfère aux doses expérimentées dans les différents essais, le mélange d'oligo-éléments correspond à un apport de 4 g de Mo/ha et le crude ammoniac à un apport de 17 g de Mo/ha environ : il est possible que ces quantités, incorporées de manière homogène dans le sol en raison de leur mélange intime dans un amendement solide, suffisent à assurer un

fonctionnement normal des nodosités sans pour autant donner lieu à une augmentation de l'absorption par le végétal. Il est difficile de le vérifier car l'épandage de ces faibles quantités de molybdène sous forme de sels en solution peut ne pas permettre une incorporation homogène de l'oligo-élément sur une profondeur suffisante du sol. Une autre hypothèse est que le crude ammoniac et le mélange d'oligo-éléments contiennent peut-être d'autres éléments qui agissent au niveau de la fixation symbiotique de l'azote. L'analyse des fourrages récoltés (tableau XI) montre qu'en dehors du manganèse, dont la teneur augmente en présence de crude ammoniac, la composition en oligo-éléments de la Luzerne est généralement peu affectée par les produits expérimentés, ce qui ne permet pas d'identifier un oligo-élément autre que le molybdène qui aurait pu exercer une action comparable à ce dernier.

TAB. XI - Composition minérale de la luzerne. Essais de Cressac et de St-Martial sur le Né.

D'après MENET et al. (1974).
Moyenne des 4 répétitions pour l'année 1973

Traitements	Essai	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
		(kg/T de M.S.)				(g/T de M.S.)			
1 T	CRESSAC	6,05	17,06	21,72	2,01	60	8	23	25
	St MARTIAL	6,05	15,18	24,10	1,95	60	6	29	22
2 C	CRESSAC	5,49	15,26	23,94	2,27	70	5	39	24
	St MARTIAL	5,90	16,13	28,66	2,19	60	7	37	21
3 S	CRESSAC	6,08	17,18	24,00	2,14	90	7	24	27
	St MARTIAL	6,23	16,38	25,19	2,11	60	6	31	22
4 Mo 200 Mo 100	CRESSAC	5,79	16,09	22,86	2,11	70	7	23	25
	St MARTIAL	5,97	16,58	22,06	2,22	70	6	29	20
5 Mo 400	CRESSAC	5,67	15,34	23,09	2,19	70	6	24	26
	St MARTIAL	5,88	15,08	23,07	2,24	60	7	27	21
6 S+Mo 400 S+Mo 200	CRESSAC	5,79	15,76	23,28	2,25	70	6	23	25
	St MARTIAL	5,66	16,00	23,57	2,30	60	8	26	22
7 O	CRESSAC	5,75	15,73	22,02	2,21	70	8	22	33
	St MARTIAL	5,97	14,40	21,54	2,07	70	8	29	25
8 Fe ₁	CRESSAC	6,31	17,22	21,88	1,97	70	6	20	23
	St MARTIAL	5,89	15,27	22,97	2,06	60	7	24	23
Moyenne Générale	CRESSAC	5,86	16,20	22,77	2,14	71	6	24	26
	St MARTIAL	5,94	15,62	23,14	2,14	62	7	29	22

La deuxième question se rapporte aux conséquences d'ordre zootechnique que risque d'entraîner l'enrichissement en molybdène de la Luzerne dès qu'un apport de cet élément est effectué, en quantité pourtant apparemment très faible dans un sol calcaire. Cette tendance de la légumineuse à accumuler le molybdène (on peut sans hésiter parler de consommation de luxe) est assez inquiétante. Si BARSHAD (1948) a observé des accidents aigus dans le cas de rations fourragères contenant plus de 20 ppm de molybdène, CUNNINGHAM et al. (1956) estiment qu'en présence d'une concentration suffisante en cuivre la teneur en molybdène peut monter sans danger jusqu'à 3 ppm ; c'est d'ailleurs ce seuil qui a été retenu comme critique par BELLANGER et PERIGAUD (1973).

Nos expériences en plein champ, complétées par une série de tests réalisés sur différents secteurs des Charentes (tableau XII), ont montré que des doses de 200 à 400 g/ha de molybdène conduisaient toutes deux à des teneurs nettement plus élevées que ce seuil ; seule la dose de 100 g/ha associée à un apport de soufre conduit à des taux légèrement inférieurs mais tout de même encore assez importants si l'on tient compte du fait que les teneurs en cuivre de la luzerne récoltée dans les différents dispositifs se situent au voisinage du seuil de carence : 7 - 8 ppm (tableau XI).

Les expériences que nous avons mises en place plus récemment ont pour but de trouver un artifice qui permet de fournir aux nodosités une quantité suffisante de molybdène sans pour autant donner lieu à une absorption exagérée de cet élément par la plante. L'une de ces expériences, réalisée en nous inspirant des travaux effectués par BURKIN (1971) sur le Pois et la Vesce, a consisté à apporter des quantités massives de molybdène (1 à 4 kg/ha) sur un champ de Luzerne-graine : si ce traitement a effectivement fait passer la teneur en molybdène des graines des plantes de 1,4 à 4,85 et à 16,45 ppm, une expérience en vases de végétation effectuée en utilisant les semences ainsi artificiellement enrichies n'a pas fait varier la teneur en molybdène de la plante et n'a pas non plus modifié les rendements de la Luzerne. Il paraît

TAB. XII - Influence d'apports de molybdène sur la teneur de la luzerne en cet élément (en mg/kg de matière sèche)
D'après MENET, TAUZIN, DELAS et JUSTE (1974).

Lieu de l'essai	Traitements	Nombre Répéti-tions	Coupes 1971		Coupes 1972			Coupes 1973		
			1 ^{ère}	2 ^e	1 ^{ère}	2 ^e	3 ^e	1 ^{ère}	2 ^e	3 ^e
Barbezieux	T = Témoin	4	0,15	0,17	0,13	0,05	0,11			
	Mo 200 (200 g/ha Mo en mars 1971)		9,58	5,17	3,97	4,45	6,55			
	Mo 400 (400 g/ha Mo en mars 1971)		14,80	11,50	5,36	5,65	10,43			
	S + Mo 400 (400 g/ha Mo en mars 1971) ...		14,11	7,68	3,77	2,49	6,30			
Léoville	T = Témoin	2	0,38	0,41	0,08	0,04	0,19			
	Mo 400 (400 g/ha Mo en avril 1971)		10,70	8,22	3,02	2,27	3,44			
	S + Mo 400 (400 g/ha Mo en avril 1971)		14,90	5,91	2,66	0,85	4,11			
St-Palais de Négrignac	T = Témoin	4			0,09	0,15	0,20	0,22	—	—
	Mo 100 (100 g/ha Mo en octobre 1971)				4,08	4,44	3,94	2,54	5,20	2,24
	Mo 200 (200 g/ha Mo en octobre 1971)				7,08	8,18	9,42	6,38	12,19	6,02
	S + Mo 200 (200 g/ha Mo en octobre 1971) .				3,17	3,89	3,75	2,18	3,94	2,38

N.B. - Les rendements de l'essai de St-Palais-de-Négrignac ont été très faibles ; ceci explique vraisemblablement les teneurs élevées de la Luzerne en molybdène, même pour un apport de 100 g/ha (effet de concentration).

donc difficile de s'orienter vers une solution de ce type, compte tenu sans doute, de la petite dimension des graines de Luzerne qui ne peuvent pas accumuler suffisamment de molybdène pour permettre une alimentation normale de la plante.

Une autre expérience, actuellement en cours, consiste à mesurer en plein champ l'efficacité du molybdène ajouté en atelier pilote par certaines firmes industrielles à des engrais ou des amendements.

En l'état actuel de nos travaux, le conseil que nous pouvons donner quand une carence en molybdène sur Luzerne a été reconnue en sol calcaire est d'appliquer, avant semis ou après une coupe, une quantité de molybdène au plus égale à 100 g par hectare en associant un épandage de soufre de l'ordre de 150 kg/ha : on a les plus grandes chances, dans ces conditions, d'obtenir un fourrage dont la teneur en molybdène se situera légèrement au-dessous du seuil critique de 3 ppm et d'assurer un fonctionnement normal des nodosités. Nous n'avons pas de données précises concernant le rythme de renouvellement de ces apports mais il est hautement probable, compte tenu de la faible décroissance des teneurs en molybdène de la Luzerne au cours des coupes et des années, qu'un seul apport soit largement suffisant pour assurer le développement normal de plusieurs luzernières sur un même emplacement.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARENS I.P., SAMPAT T.V., 1973 - Influence de différentes doses et de méthodes d'application du molybdène sur le rendement et la qualité du Lupin. *Vestn. Moskov. Univers.*, **2**, 72-80.
- ARNON D.I., STOUT P.R., 1939 - Molybdenum as an essential element for higher plants. *Pl. Physiol.*, **14**, 599-602.
- BARSHAD I., 1948 - Molybdenum content of pasture plants in relation to toxicity to cattle. *Soil Sci.*, **66**, 187-195.
- BELLANGER J., PERIGAUD S., LAMAND M., 1973 - Carences en oligoéléments chez les ruminants en France - III. Eléments d'enquête obtenus par les analyses de fourrages. *Ann. Rech. Véter.*, **4**, 565-598.
- BERTRAND D., 1962 - De l'emploi pratique du molybdène comme engrais pour la culture du Soja. *C.R. Acad. Sci.*, **255**, 1814-1816.
- BERTRAND D., de WOLF A., 1963 - Détermination pratique des doses optimales de l'oligoélément molybdène utilisé comme engrais. *C.R. Acad. Agric.*, **49**, 1049-1056.
- BURKIN I.A., 1971 - Use of molybdenum fertilizers in growing legums. *Sov. Pl. Physiol.*, **18**, 715-721.
- BUSSLER W., 1970 - The development of molybdenum deficiency symptoms in cauliflower. *Zeits. für Pflanz. und Bodenk.*, **125**, 36-50.
- CHENG B.T., OUELLETTE G.J., 1973 - Molybdenum as a plant nutrient. *Soil & Fert.*, **36**, 6, 207-215.
- CUNNINGHAM I.J., HOGAN K.G., BREEN J.N., 1956 - The copper and molybdenum contents of pastures grown on the different soils of New-Zealand. *New-Zealand J. of Soil Sci. and Technol.*, **38**, 225-238.
- DELAS J., JUSTE C., TAUZIN J., 1972 - Combined S and Mo deficiency observed in Charentes. *Sulphur Inst. J.*, **8**, 3, 14-15.
- DELAS J., JUSTE C., TAUZIN J., 1973 - Carence en soufre de la Luzerne en sol de Charentes. IV. Nouvelles observations sur l'interaction soufre-molybdène. *C.R. Acad. Agric.*, **59**, 1051-1058.
- DIOS V.R., BROYER T.V., 1965 - Deficiency symptoms and essentiality of molybdenum in corn hybrids. *Agrochimica*, **9**, 273-284.
- GUPTA U.C., Mac KAY D.C., 1968 - Crop response to applied molybdenum and copper on podzol soils. *Canad. J. of Soil Sci.*, **48**, 235-242.
- JAOUICH B.A., OUELLETTE G.J., 1971 - Valeur de l'analyse chimique du sol pour l'étude de la disponibilité du molybdène pour la Fléole et la Luzerne. Contenu en molybdène total et assimilable des sols du Québec. *Naturaliste Canadien*, **98**, 633-644.
- JONES M.B., RUCKMANN J.E., 1973 - Long term effects of phosphorus, sulfur and molybdenum on a subterranea clover pasture. *Soil. Sci.*, **115**, 343-348.
- JUSTE C., DELAS J., TAUZIN J., MENET M., 1969 - Carence en soufre de la Luzerne en sol de Charentes. II. Efficacité comparée de diverses sources de soufre. *C.R. Acad. Agric.*, **55**, 240-424.
- JUSTE C., DELAS J., TAUZIN J., 1971 - Carence en soufre de la Luzerne en sol de Charentes. III. Interaction soufre-molybdène dans un essai réalisé en vases de végétation. *C.R. Acad. Agric.*, **57**, 1134-1139.
- MENET M., TAUZIN J., DELAS J., JUSTE C., 1974 - Importance du soufre, du molybdène et de certains amendements minéraux et organiques riches en oligoéléments sur le développement et la qualité de la Luzerne dans les sols argilo-calcaires des Charentes. Fourrages, en cours d'impression.
- PASRICHA N.S. RANDHAWA N.S., 1972 - Interaction effect of sulphur and molybdenum on the uptake and utilization of these elements by Raya. *Pl. & Soil.*, **37**, 215-220.
- PIPER C.S., BECKWITH R.S. 1949 - The uptake of copper and molybdenum by plants. *Proc. Spe. Conf. Agri.*, Melbourne, **B**, 1-13.
- RATNER E.I., SMIRNOV A.M., HUANG HUNG SHU, 1962 - Importance of molybdenum for growth of isolated alfalfa roots in relation to acidity an aluminium content of the medium. *Sov. Pl. Physiol.*, **9**, 224-230.
- REISENAUER H.M., 1963 - The effect of sulfur on the absorption an utilization of molybdenum by Peas. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **27**, 553-555.
- STEWART I., LEONARD C.D., 1952 - Molybdenum deficiency in Florida citrus. *Nature*, **170**, 714-715.
- STOUT P.R., MEAGHER W.R., PEARSON G.A., JOHNSON C.M., 1951 - Molybdenum nutrition of crop plants. *Pl. & Soil*, **III**, 51-87.
- WILLIAM C., THORNTON I., 1972 - The effect of soil additives on the uptake of molybdenum and selenium from soils from different environment. *Pl. & Soil*, **36**, 395-406.

DISCUSSION

Dr. SIMOULIN — Le molybdène a-t-il réellement une importance dans la production animale et quels sont les dangers de toxicité ?

Dr. LAMAND — On ne connaît pas de carence authentique en cet élément chez l'animal. Un taux très faible de molybdène va provoquer une toxicité du cuivre apparaissant tôt chez les moutons. A l'inverse, au-delà de 3 ppm, le molybdène interfère avec le cuivre. Il faut alors respecter un certain parallélisme entre la teneur en cuivre. Il faut alors respecter un certain parallélisme entre la teneur en cuivre et la teneur en molybdène de la ration.

M. CHAUVET — Nos collègues vétérinaires nous ont exposé au cours des premières journées qu'il était absolument nécessaire pour le traitement des animaux de compléter à la fois en cuivre, cobalt, manganèse, iode. Avez-vous pu doser dans les différents essais, les teneurs en autres oligoéléments des luzernes ?

M. JUSTE — On a dosé la plupart des oligoéléments contenus dans la luzerne. Mais l'expérience a montré que la luzerne traitée soit avec le complexe oligoéléments, soit avec le crude ammoniac n'avait pas sa composition modifiée pour le zinc et le cuivre. Par contre, en ce qui concerne le manganèse, le crude ammoniac riche en manganèse, entraîne une augmentation importante de la teneur en manganèse de la luzerne. C'est une chose qui nous étonne, quand on sait la difficulté que l'on a à faire marquer les composés minéraux de manganèse habituellement appliqués au sol pour tenter de corriger les carences en cet élément.

M. COPPENET — Votre apport de molybdène était-il fait en couverture ?

M. JUSTE — Il était fait après une coupe de régularisation en pulvérisation, la luzerne ayant à peu près 2 à 3 cm de hauteur.

M. COPPENET — Donc en surface.

M. JUSTE — IL y a d'autres essais faits au champs dans lesquels on a comparé différentes techniques d'apport du molybdène avant labour et après semis de la luzerne. Avec la dose de 100 g/ha on obtient des augmentations de la teneur en molybdène de la plante quelle que soit la technique d'apport utilisée. Et ceci sur sol calcaire, où il n'y a pas semble-t-il rétention importante du molybdène.

M. COPPENET — 100 g. de molybdène représente 200 g de molybdate d'ammonium par hectare. Lorsque vous mettez par labour, vous enrichissez moins la luzerne.

M. JUSTE — Il y a une petite différence. On passe cependant nettement au-dessus de 1 ppm.

M. COPPENET — En sol acide, on a une grosse différence selon le mode d'apport.

M. JUSTE — Vous avez cité hier des chiffres d'enrichissement qui vous surprenaient par leur importance mais moi je suis surpris par le fait que les apports que vous avez réalisés n'enrichissaient pas plus vos fourrages !

M. COPPENET — On a apporté 2 kg/ha de molybdate mais c'était en sol acide.

M. JUSTE — Il ne faut pas évidemment tenir compte de ces observations lorsque l'on s'adresse à un sol calcaire.

Dr. PIEL — On a vu que certains fourrages en France étaient trop riches en molybdène. Dans votre expérimentation, quand vous mettez du molybdène, on obtient des teneurs très élevées. Quand la teneur naturelle du sol en molybdène est trop importante, l'apport de soufre peut-il diminuer cette teneur ?

M. JUSTE — Cela a été vérifié à l'étranger. On a pu mettre en évidence l'effet dépressif du sulfate sur l'absorption du molybdate. Cet effet dépressif s'explique par un antagonisme d'absorption purement physiologique mais il y aurait aussi une possibilité locale d'acidification par les composés du soufre qui entraîneraient une fixation de l'anion molybdique. Avec des sols ayant des pH voisins de la neutralité, il faut monter à des doses de sulfates assez importantes (400 à 500 unités de S/ha) pour obtenir un effet dépressif sur l'absorption du molybdène.

M. BRICOUT — Il faut signaler que dans ces mêmes régions des Charentes avec un produit qui contient 30 % de soufre (exprimé en SO_3) et 2,4 g. de molybdène (0,08 % de molybdène) on obtient une réponse au point de vue végétation. Ce résultat est intéressant parce que l'apport de molybdène est relativement faible.

M. JUSTE — Je crois qu'il faudrait, dans ce type de sol, contrôler la teneur en molybdène du végétal après le traitement que vous indiquez.

M. BRICOUT — Les apports sont faits par pulvérisation foliaire.

M. JUSTE — A plus forte raison.

Mme PERIGAUD — Il faut encore souligner l'importance du problème. Il ne faut pas dépasser les doses toxiques pour les animaux dans les fourrages. Il faut, bien évidemment, traiter au molybdène les luzernes lorsque celles-ci sont carencées et lorsqu'il y a un déficit de production. Mais suivant les régions, il peut y avoir déjà plus ou moins de molybdène dans les sols et dans les plantes.

Le soufre permet de diminuer la teneur en molybdène. Le cuivre le permet aussi. A Theix, les parcelles qui ont reçu du cuivre avec un objectif d'enrichissement donnent des fourrages moins riches en molybdène : on passe pour un dactyle de 3,5 ppm dans le témoin à 1,8 ppm pour le traité en cuivre. L'apport de cuivre peut parfois ne pas enrichir la plante mais il a un effet secondaire favorable en abaissant le taux de molybdène.

Je voudrais demander à M. JUSTE si les ennuis rencontrés sur la luzerne se sont produits au moment de l'implantation ou ultérieurement, dans l'année qui suit ? D'après les Soviétiques, il semble qu'il y ait des difficultés, dans leurs sols, au moment de l'implantation ; c'est un problème de rhizobium. Dans ce cas, il suffit d'un traitement des semences (pulvérisation ou trempage). Ce simple traitement leur permet d'obtenir une implantation et un développement corrects et ceci tout en maintenant des teneurs dans la luzerne qui ne sont pas excessives pour les animaux.

M. JUSTE — C'est surtout au moment de l'implantation. Il y a un défaut d'implantation qui est lié à un défaut de fonctionnement des nodosités. Ceci a été confirmé par les dosages d'azote total que l'on a fait dans la luzerne. Chaque fois que la luzerne s'est bien implantée, la teneur en azote total est normale. Nous nous proposons de reprendre les expérimentations de traitement de semences, en ajoutant très peu de molybdène à ces semences. Il sera peut-être possible ainsi de parvenir à une implantation correcte sans provoquer un enrichissement exagéré de la plante en molybdène.

Mme PERIGAUD — A Theix, la technique des Soviétiques a été essayée. On a comparé deux traitements au moment où l'on a fait l'ensemencement du rhizobium. Ce rhizobium se présente sous forme d'une poudre humide. On y a ajouté soit un peu d'eau, soit une solution de molybdate d'ammonium. Après un léger séchage, les graines ont été semées. La luzerne s'est bien implantée, la première coupe a permis un enrichissement important puisqu'on est passé de 0,2 ppm de molybdène sur le lot témoin à 0,8 ppm sur les lots traités. Cependant, il faut signaler que les sols de Theix ne sont pas carencés en molybdène. Il serait intéressant de compléter cet essai par une pulvérisation foliaire et de disposer de sols carencés.

M. JUSTE — Nous envisageons cette possibilité.

Mme PERIGAUD — Il faut retenir qu'il est nécessaire d'apporter du molybdène à chaque fois qu'il y a des difficultés d'implantation de la luzerne. Cependant, il faudra ultérieurement contrôler les teneurs en molybdène pour ne pas dépasser la teneur toxique pour l'animal.

Dr. GANSEL — Mme PERIGAUD vient de nous signaler que non seulement le soufre mais aussi le cuivre pouvait abaisser la teneur en molybdène des plantes. Sous quelle forme faut-il apporter le cuivre ? Est-on bien sûr que c'est le cuivre qui agit lorsqu'on apporte celui-ci sous forme de sulfate ?

Mme PERIGAUD — Il s'agit d'essais d'apport au sol avec 20-25 kg/ha de sulfate de cuivre. Les conséquences de cet enrichissement sont mesurables deux à trois ans après l'application. On est encore dans la période d'arrière effet de l'apport du cuivre. Je ne suis pas sûre qu'il reste encore des sulfates. En pulvérisations foliaires à des doses moindres (100 g/ha) on n'obtient aucune interférence sur le molybdène.

M. CHAVANNE — Nous avons eu des intoxications par le cuivre sur des agneaux soumis à l'engraissement. Y a-t-il des rapports avec le molybdène ? Quel traitement préconisez-vous ?

Dr. LAMAND — Lorsque l'on a des ennuis d'intoxication, l'association des sulfates et du molybdène permet d'améliorer le pronostic de l'accident. Je crois, par contre, qu'il est très imprudent de mettre le molybdène directement sur les prairies. J'ai vu un incident de ce genre, lorsque des éleveurs, pour traiter un problème de toxicité en cuivre, ont ajouté du molybdène en quantité excessive sur leurs prairies. Ils ont eu alors une intoxication par le molybdène.

M. JUSTE — Le seuil de 3 ppm doit-il être respecté de façon draconienne ?

Dr. LAMAND — C'est un ordre de grandeur, il faudra repenser le problème des besoins en cuivre lorsque l'on dépasse 3 ppm, on peut élever les apports en cuivre et ne pas avoir d'ennuis avec les animaux. Le maximum à partir duquel on ne peut plus compenser par le cuivre est de 10 ppm. Le problème, lorsqu'on utilise un aliment supplémenté en molybdène est de connaître sa teneur.



EXPERIMENTATIONS SUR LA COMPLEMENTATION EN OLIGO-ELEMENTS

LES DIFFERENTS TYPES - LEURS DIFFICULTES RESPECTIVES

RICHET G.* - PERIGAUD S. - LAMAND M.****

INRA

*SEI-CNRA Route de St. Cyr - 78000 VERSAILLES

**Station de Physiopathologie de la Nutrition
CRZV Theix - 63110 BEAUMONT

I INTRODUCTION

Des enquêtes récentes ont montré que les fourrages récoltés en France ont, d'une manière générale, des teneurs en cuivre, zinc, sélénium, etc... inférieures aux seuils de carences animales indiqués par les spécialistes de la Nutrition.

Nos ruminants domestiques seraient donc un peu partout exposés à des subcarences en oligo-éléments lesquelles, selon nos connaissances actuelles entraîneraient d'une manière constante des déficits de production (diminution de l'appétit, de la croissance, de la production laitière, de la fertilité, de la vitalité).

En d'autres termes, les fourrages que nous obtenons par les méthodes perfectionnées de l'intensification fourragère, seraient mal utilisés par ces transformateurs biologiques améliorés, mais plus exigeants, que sont nos types actuels de ruminants domestiques.

Les investissements et les efforts consentis en vue de l'intensification de la production auraient des résultats inférieurs à ceux que nous pourrions espérer.

En période de crise économique nous devons pourchasser tout gaspillage et lever toute contrainte venant obérer les coûts de production.

Les carences en oligo-éléments représentent l'une de ces entraves à la bonne gestion des entreprises d'élevage. Elles requièrent la mise en œuvre des mesures prophylactiques recommandées par la Recherche Agronomique.

II PROPHYLAXIE DES CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS - INTERET D'UNE EXPERIMENTATION AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION AGRICOLE.

Lorsqu'il existe un état de subcarence sur une exploitation deux cas peuvent être envisagés :

1) S'il s'agit d'animaux nourris individuellement tels que vaches laitières, jeunes en stabulation, il est facile de réaliser une complémentation **minérale équilibrée** par apport d'oligo-éléments dans les rations individuelles. Il convient de rappeler à ce propos que tous les oligo-éléments peuvent être toxiques et que l'on a constaté dans certains élevages des accidents graves dus au fait qu'on en avait distribué des quantités trop élevées sous prétexte de couvrir largement les besoins des animaux. Une conduite prudente consiste à respecter les recommandations habituelles.

2) Lorsque le rationnement est collectif le problème de la complémentation en oligo-éléments devient difficile. Il s'agit le plus souvent d'animaux sur pâturage, sur parcours, ou nourris en libre service et ne disposant que de fourrages carencés. Dans ces situations, il est impossible de contrôler les quantités d'oligo-éléments absorbées. En outre, une distribution globale risque d'être, soit inefficace, soit toxique, en fonction des quantités ingérées individuellement.

Parmi les modes de prophylaxie préconisés par la Recherche certains semblent a priori offrir une solution séduisante. Ce sont :

1) **Les pierres à lécher** enrichies en oligo-éléments qui donnent satisfaction dans un grand nombre de cas.

2) **L'enrichissement des fourrages** par apport d'oligo-éléments

- . au sol,
- . en pulvérisation foliaire.

3) **L'accroissement des réserves en oligo-éléments de l'animal** par la méthode des injections retards.

Mais l'appui de la Recherche à l'Elevage s'arrête là et ne pourra probablement pas aller beaucoup plus loin.

Pour comprendre le problème posé par les oligo-éléments, procédant d'une démarche analytique, les Chercheurs déterminent la composition des tissus animaux et végétaux, du sang, des enzymes, hormones et vitamines affectés par les carences en oligo-éléments, ils étudient la digestibilité de ceux-ci.

En conclusion à cet énorme travail, ils ont indiqué des remèdes aux carences aiguës et des mesures prophylactiques pour prévenir les subcarences.

Par contre on ne possède que de rares informations sur l'influence de ces remèdes dans le comportement animal, sur la production zootechnique ; on n'a pas abouti au test-économique des problèmes d'oligo-éléments. La Recherche a livré aux éleveurs des cartes à jouer mais n'a pas dit comment les jouer. Car la règle de ce jeu ne peut être élaborée que dans le cadre de l'exploitation agricole. On voit alors apparaître la nécessité d'une expérimentation nouvelle facilitant l'accès des Praticiens aux produits de la Recherche et, par une démarche de synthèse, liant les solutions des problèmes d'oligo-éléments aux autres préoccupations techniques, économiques et humaines de l'exploitation agricole.

Opérant sur de grandes parcelles, avec les moyens matériels et humains accessibles aux éleveurs, cette expérimentation complémentaire doit trouver sa place dans les exploitations en respectant les systèmes de production et sans perturber le rythme des travaux.

Elle aura pour principal intérêt de déterminer, compte tenu de la diversité des sols et de leur pouvoir de rétention variable, des réactions des espèces végétales et animales, de l'économie de l'exploitation, dans quelles situations et à quelles conditions il convient d'utiliser les diverses méthodes prophylactiques préconisées, à quel moment il est préférable d'éviter leur emploi et pourquoi il faut préférer telle méthode à telle autre.

Nous ne possédons pas d'informations sur l'ordre de grandeur des pertes directes et indirectes entraînées pour les productions animales par les carences et les subcarences en oligo-éléments. Ce type d'expérimentation par comparaison des performances d'animaux traités et de "témoins" pourrait fournir des données sur la question et justifier éventuellement une politique de traitement préventif des carences aboutissant à une meilleure rentabilité des élevages.

III DIFFICULTES DE L'EXPERIMENTATION DANS LES EXPLOITATIONS

Dans l'accomplissement de cette démarche expérimentale il est nécessaire de réunir un certain nombre de conditions et de facteurs utiles qu'il n'est pas toujours possible de rassembler :

1) Il faut disposer de lots importants d'animaux appariés pour permettre de réaliser des groupes homogènes de sujets traités et de "témoins" en nombre égal et suffisamment nombreux pour pallier la variabilité individuelle.

2) Pour les expériences avec action sur les fourrages il faut pouvoir partager l'exploitation en deux pour traiter la moitié des pièces destinées à la pâture ou à la conserve et pour affecter une moitié des superficies à l'un et à l'autre des lots d'animaux en expérimentation.

3) Il s'agit d'expériences de longue durée : un an au minimum pour la production laitière, un an et plus pour la production de viande, trois ans au minimum s'il y a des problèmes de fertilité.

4) Dans le cas d'une production laitière il faut pouvoir mesurer séparément la production des vaches traitées et celle des témoins. Ceci n'est pas toujours possible. L'expérience requiert de grands effectifs lesquels ne peuvent se rencontrer à notre époque que dans des étables équipées de la traite mécanique. Souvent dans ces systèmes, il n'est pas possible de repérer les productions de chaque sujet, les laits étant confondus dans les différentes parties de l'installation.

Lorsque la traite a eu lieu dans l'étable il pourrait être parfois possible de mesurer séparément la production du lait des vaches traitées et celle des "témoins" en modifiant l'ordre habituel des places des animaux pour constituer des lots homogènes. On décide par exemple qu'une rangée recevra une complémentation en oligo-éléments et que l'autre servira de témoin et on recueille séparément les laits produits dans chaque travée. Mais ces déplacements peuvent entraîner des troubles psychologiques chez les animaux dont la sécrétion lactée peut se trouver modifiée.

Si on réalise une expérience avec enrichissement des fourrages, au cours de laquelle deux lots de vaches doivent pâturer des secteurs séparés, et si l'on dispose d'une salle de traite indépendante, il est possible d'amener les deux lots d'animaux en expérimentation, l'un après l'autre, à la salle de traite. Leurs productions respectives pourront être isolées et dirigées sur deux tanks différents sans risque de mélange.

La poursuite de cette expérimentation en saison hivernale nécessitera la séparation des lots à l'étable avec une ration de base identique mais avec deux complémentations minérales différentes : avec ou sans oligo-éléments.

Ces conditions entraînent des suggestions importantes pour les éleveurs qui se prêteraient à cette expérimentation.

Ajoutons à cela quelques difficultés de moindre importance.

6) L'incertitude dans laquelle nous nous trouvons pour déterminer les doses d'oligo-éléments à apporter dans des traitements en des sites non encore étudiés avec le risque d'employer des concentrations insuffisantes ou, à l'opposé, en excès.

7) Le soin à apporter dans l'épandage des sels d'oligo-éléments sous peine d'aboutir à une grande hétérogénéité incompatible avec les nécessités de l'expérimentation.

8) Le soin à apporter également dans la collecte et la préparation des échantillons de fourrages pour éviter les contaminations par la terre, les poussières, le contact avec les récipients métalliques.

9) En ce qui concerne les pulvérisations foliaires, la nécessité de procéder aux épandages au cours d'une semaine sans chute de pluie importante sous peine d'être contraint de recommencer l'opération ou de renoncer à l'enrichissement d'un cycle d'exploitation. Ceci est grave pour l'expérimentation. Mais c'est heureusement moins important pour un éleveur qui peut compenser ce déficit par le produit d'autres parcelles enrichies dans de bonnes conditions.

IV QUELQUES RESULTATS OBTENUS AU COURS D'UNE PREMIERE ANNEE D'EXPERIMENTATION

En 1974 nous avons abordé ce nouveau type d'expérimentation avec des objectifs limités.

Car il ne nous a pas été possible de trouver des situations aux effectifs importants et où la topographie nous aurait permis de partager en deux les surfaces enherbées. Nous avons effectué des apports de cuivre et de zinc sur prairies en contrôlant les résultats obtenus par la mesure des teneurs de ces éléments dans l'herbe.

L'expérience s'est déroulée dans deux Domaines agricoles relevant du Ministère de l'Agriculture, le Domaine expérimental du S.E.I. à Mirecourt dans les Vosges et le Domaine du Lycée Agricole de Château Salins dans la Moselle.

Au cours de l'année précédente nous avons fait analyser les fourrages pâturés et les fourrages conservés de ces deux exploitations. Ils avaient des teneurs en cuivre et en zinc faibles et quelquefois très faibles permettant de soupçonner un risque de carence sur les animaux.

Trois prairies ont été retenues correspondant à des sols homogènes dans toute leur superficie. L'une à Mirecourt exploitée en prairie naturelle, les deux autres à Château Salins comportant une prairie permanente et une prairie temporaire (luzerne Europe + dactyle Lucifer).

Chaque prairie a été divisée en parcelles expérimentales correspondant à 4 traitements sans répétition :

1) Témoin,

2) Apport de cuivre et zinc au sol théoriquement à la fin de l'hiver avant le départ de la végétation :

- . 25 kg de sulfate de cuivre par ha.
- . 25 kg de sulfate de zinc par ha.

3) Pulvérisation foliaire **faible** à chaque cycle d'exploitation 4 à 5 j. avant le pâturage avec les doses suivantes :

- | | |
|------------------|--|
| . Mirecourt | 200 g à l'ha. de sulfate de cuivre
800 g à l'ha. de sulfate de zinc |
| . Château Salins | 200 g à l'ha. de sulfate de cuivre
600 g à l'ha. de sulfate de zinc |

4) Pulvérisation foliaire **forte** à chaque cycle d'exploitation en vue de la conserve avec les doses suivantes :

- 600 g à l'ha. de sulfate de cuivre
- 800 g à l'ha. de sulfate de zinc.

Les épandages ont été effectués après dissolution des sels de cuivre et de zinc dans l'eau et neutralisation à la chaux au moyen des appareils de pulvérisation existant sur les Domaines formant soit des grosses gouttes pour l'apport au sol soit des brouillards pour les pulvérisations foliaires.

On a prélevé des échantillons de fourrages dans chaque parcelle, à chaque cycle d'exploitation :

- le jour de la pulvérisation foliaire,
- le jour du début du pâturage,
- le jour de la récolte pour foin ou ensilage.

Ces échantillons ont été analysés à Theix.

V RESULTATS ET COMMENTAIRES (Tableaux I, II et III)

1) Parcelles "témoins"

Mirecourt et Château Salins

Premier, deuxième et troisième cycle : l'analyse des prélèvements révèle des carences en cuivre et en zinc qui s'accroissent au fur et à mesure que l'on avance dans la saison. Ceci confirme les résultats des analyses effectuées sur les fourrages prélevés dans ces Domaines l'année précédente. A Château Salins sur luzerne-dactyle on note une élévation des teneurs due vraisemblablement à un ralentissement de la végétation consécutif à la grande sécheresse, laquelle a eu pour conséquence une concentration du cuivre et du zinc dans les parties aériennes des plantes.

2) Apport au sol

Il a été effectué le 4 avril 1974 à Château Salins et le 12 avril 1974 à Mirecourt , plus tard qu'initialement prévu.

a. CHATEAU SALINS

Prairie permanente

Premier cycle : On constate, au stade pâture, un enrichissement excessif pour les ovins mais satisfaisant au stade foin. Les résultats sont insuffisants pour le zinc au stade foin , il y a peu de différence par rapport aux témoins.

Deuxième cycle : Les teneurs en cuivre et zinc de l'échantillon prélevé le 26/7, plus élevées que celles du prélèvement du 20/6, pourraient laisser penser à une contamination de l'échantillon par la terre. Sur place nous avons appris qu'entre ces deux dates la pousse de l'herbe a été ralentie par la sécheresse. On pense qu'il s'agirait là plutôt d'une concentration des oligo-éléments dans les parties aériennes de la plante en développement ralenti.

Luzerne-Dactyle

Premier cycle : On a obtenu un enrichissement important pour le cuivre, dangereux pour les ovins au stade pâture mais satisfaisant au stade conserve pour les bovins. Par contre l'enrichissement en zinc est insuffisant.

Deuxième et troisième cycles : Les teneurs en cuivre et en zinc sont un peu insuffisantes pour les bovins mais peuvent convenir à des ovins.

b. MIRECOURT

Prairie naturelle

Premier cycle : La teneur en cuivre est importante au stade pâture comme au stade conserve. Elle est dans les deux cas excessive pour les ovins. L'enrichissement en zinc est satisfaisant. On peut faire ici deux remarques :

- l'enrichissement en cuivre et en zinc est ici d'environ la moitié de ce qui a été obtenu à Château Salins.
- les teneurs de l'herbe vont en augmentant du stade pâture au stade conserve.

Ceci peut s'expliquer par le fait que l'apport au sol a été tardif (12/4) et qu'il ne s'est écoulé que quatre jours entre cette opération et le stade pâture : les plantes n'ont pas eu le temps d'absorber une quantité importante d'oligo-éléments. Au stade conserve, 8 jours après l'apport au sol, elles ont eu le temps d'en absorber davantage.

Second cycle : Les teneurs en cuivre sont encore satisfaisantes mais les teneurs en zinc sont insuffisantes.

Troisième cycle : Les teneurs en cuivre et en zinc sont insuffisantes au stade conserve mais peuvent convenir au stade pâture pour des ovins.

3) Pulvérisation foliaire à dose faible.

a. CHATEAU SALINS

Prairie permanente et Luzerne-Dactyle

L'enrichissement en cuivre est satisfaisant au stade pâture.

TAB. I Enrichissement des fourrages sur pied en cuivre et en zinc

Prairie naturelle 1974

Domaine S.E.I. Mirecourt

Cycle d'exploitation	Dates	TRAITEMENTS (teneurs des échantillons prélevés exprimées en mg/kg/M.S.)								Observations (opérations effectuées)
		Témoin		Apport au sol (a)		Pulvérisation foliaire faible dose (b)		Pulvérisation foliaire dose forte (c)		
		Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	
1	12 avril	7,2	23	—	—	18,3	59,5	34,2	96	Apports au sol et pulvérisations foliaires. Pâture simulée Conserve
	16 avril	6,9	24	59,3	57,2	19,4	63,3	40	58	
	24 avril	5,3	23	83,2	71,7	—	—	22,1	75	
2	27 mai	5,7	25	10,6	29,4	15,6	61,7	—	—	Pulvérisations foliaires Pâture
	5 juin	5,4	21	9,4	26,2	7,4	30,7	—	—	
3	26 juillet	5,5	24,6	—	—	17,4	61	43,3	131	Pulvérisations foliaires Pâture Conserve
	31 juillet	5,4	23	7	26,4	15,9	56,2	—	—	
	30 août	4,6	19,7	5,6	22,6	—	—	9,8	41,3	

TAB. II - Enrichissement des fourrages sur pied en cuivre et en zinc

Prairie permanente 1974

Lycée agricole de Château Salins

Cycle d'exploit.	Dates	TRAITEMENTS (teneurs des échantillons prélevés exprimées en mg/kg/M.S.)								Observations (opérations effectuées)
		Témoin		Apport au sol (a)		Pulvérisation foliaire faible dose (b)		Pulvérisation foliaire dose forte (C)		
		Cu 	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	
1	4/4	—	—	—	—	—	—	—	—	Apport au sol Pulvérisations Pâture
	9/5	6,2	28	—	—	—	—	31,5	121	
	14/5	5,1	25	104,1	98	11,5	41	24,5	71	
	20/6	3,1	18	14	27	—	—	6,6	26	
2	22/7	—	—	—	—	11,8	45	—	—	Pulvérisations Pâture
	26/7	6,6	29	24,4	39	7,6	31	—	—	

TAB. III - Enrichissement des fourrages sur pied en cuivre et en zinc

Luzerne - Dactyle 1974

Lycée agricole de Château Salins

Cycle d'exploit.	Dates	TRAITEMENTS (teneurs des échantillons prélevés exprimées en mg/kg/M.S.)								Observations (opérations effectuées)
		Témoin		Apport au sol (a)		Pulvérisation foliaire faible dose (b)		Pulvérisation foliaire dose forte (c)		
		Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	
1	4/4	—	—	—	—	—	—	—	—	Apport au sol Pulvérisations Pâture
	9/5	6,8	24	—	—	14,5	51	18,7	61	
	14/5	7,6	22	110,9	114	10,5	35	16,3	51	
	5/6	6,6	19	21,6	33	—	—	10,1	28	
2	9/7	8,3	25	—	—	11,1	33,5	17,6	53,5	Pulvérisations Pâture Foin
	12/7	7,5	23	8,8	25	12,6	38	20,4	71	
	27/7	6,2	19	7,7	20	—	—	7,9	26	
3	5/9	7,1	23	—	—	10,4	41	19,4	68	Pulvérisations Pâture Foin
	11/9	7,4	30	8	26	9	22	8,9	29	
	16/9	7,1	24	7,8	27	—	—	10	33	

La dose employée pour le zinc (600 g/ha de sulfate de zinc) semble insuffisante.

Dans le cas de l'échantillon de luzerne dactyle prélevé le 12/7 on observe une augmentation des concentrations de cuivre et de zinc par rapport à celles du jour de la pulvérisation. L'explication peut être trouvée là aussi dans la sécheresse régnant à cette époque de l'année qui a ralenti la pousse de l'herbe et favorisé la concentration des minéraux dans les parties aériennes des plantes.

b. MIRECOURT

Prairie naturelle

Premier cycle : On observe un enrichissement trop important en cuivre au stade pâture.

En ce qui concerne le zinc, on a employé ici une dose plus forte qu'à Château Salins (800 g/ha de sulfate de zinc). Il en est résulté un enrichissement satisfaisant contrairement à ce qui s'est passé dans l'autre site d'expérimentation.

Second cycle : Il convient de remarquer ici une chute importante des teneurs de l'herbe en cuivre comme en zinc entre le jour de la pulvérisation et celui du stade pâture (8 j. après).

Ceci est très vraisemblablement dû aux chutes de pluies importantes qui ont eu lieu entre ces deux dates (18,2 mm). En exploitation normale, il aurait fallu, si possible, recommencer la pulvérisation.

Troisième cycle : Enrichissement en cuivre excessif pour une pâture ovins.

4) Pulvérisation foliaire à dose forte.

Les enrichissements sont plus importants que précédemment pour le cuivre. A Mirecourt, en premier cycle au stade pâture, ils sont excessifs pour les ovins. Par contre, au stade conserve plus tardif, un mois après la pulvérisation, ils permettent d'obtenir des taux satisfaisants.

Pour le zinc, les résultats sont moins encourageants.

Cette première série d'expérimentations en exploitation confirme certains des résultats obtenus par les Stations de Recherche à savoir :

- 1) les modes d'enrichissement des fourrages qui ont été utilisés sont efficaces pour le cuivre et un peu moins pour le zinc, tout au moins quand on se réfère aux normes indiquées par les Nutritionnistes ;
- 2) les apports de cuivre au sol entraînent au premier cycle des teneurs trop fortes pour les ovins mais les seconds cycles sont parfois insuffisamment enrichis pour les bovins. La date optimale d'épandage reste à préciser pour chaque type de sol et pour chaque climat entre la fin de décembre et le mois d'avril. En outre, il sera nécessaire de préciser les doses d'oligo-éléments à utiliser dans les types de sols et dans les sites qui n'ont pas encore été étudiés. Ceci nécessitera la création d'un réseau d'expérimentations en différentes situations.
- 3) les pulvérisations foliaires permettent d'obtenir un enrichissement convenable à tous les cycles exploités en pâture mais pas toujours aux stades de la conserve.

VI CONCLUSION

Il est facile, comme nous l'avons fait, d'expérimenter sur les fourrages en contrôlant la teneur des fourrages en oligo-éléments.

Mais cette démarche est incomplète car elle n'atteint pas le but utile de l'expérimentation, l'efficacité des mesures prophylactiques sur les animaux et sur leurs productions.

Il faudrait poursuivre cette activité en élargissant son champ d'action.

Dans les cas de subcarences, pour pouvoir porter un jugement de valeur sur les animaux, il est indispensable d'opérer sur des lots plus importants que ceux dont disposent les Domaines de l'I.N.R.A.

Là aussi une collaboration étroite entre les Eleveurs et la Recherche s'avère indispensable.

DISCUSSION

M. DE RIBOU — Avec les pulvérisations sur prairies permanentes, ne pourrait-on pas faire coup double parce que certains sels de cuivre sont réputés toxiques pour les limnées tronculées.

Dr. LAMAND — On a utilisé le sulfate de cuivre ou souvent le sulfate de fer pour tuer les parasites qui existent dans le sol. Comme Mme PERIGAUD l'a souligné, il ne faut pas le faire trop tard dans l'hiver et surtout pas au printemps au moment de la pousse.

Dr. NGUYEN — Je voudrais vous demander si votre étude porte sur des vaches laitières ?

M. RICHET — Non, sur des bouvillons.

M. DUPUY — Je viens de faire un parallélisme entre les résultats de M. RICHET et ceux de M. COPPENET. On s'aperçoit que ceux de M. COPPENET, obtenus après apports de cuivre et de zinc au sol, sont très nettement supérieurs à ceux de M. RICHET concernant les applications foliaires à Mirecourt et Château Salins. Par contre les résultats de M. RICHET sont plus intéressants au point de vue économique.

M. MAINGUY — Lors de vos expériences vous avez observé des accidents de toxicité. Cette toxicité s'est-elle manifestée par des symptômes précoces ? D'une manière générale existe-t-il des symptômes pour les excès comme pour les carences ?

M. RICHET — Par deux fois des erreurs ont été commises. La première erreur a été de donner à des ovins un aliment trop riche en cuivre. Je n'ai pu observer le troupeau car j'ai été appelé après la mort des animaux. Ce n'est qu'après le dosage de l'aliment complet que je me suis aperçu qu'on avait distribué 80 ppm de cuivre à des agneaux.

La deuxième erreur a été de donner à des jeunes bovins un aliment calculé pour des adultes. Il en est résulté un arrêt de la croissance pendant deux mois. J'ai fait corriger la teneur en cuivre de l'aliment et les animaux ont repris une croissance normale.

M. ROCHET — Est-il possible de tirer une conclusion pratique de complémentation en oligoéléments, soit par pierre à lécher ou par composés minéraux. Quel type de complémentation minérale recommandez-vous ?

M. RICHET — Les problèmes d'oligoéléments doivent être vus à l'échelon local au niveau de l'exploitation agricole. Il convient d'examiner les possibilités techniques de cette dernière, sa situation sanitaire, la valeur de ses fourrages, les types d'alimentations qu'elle a la possibilité de mettre en œuvre ainsi que les modes de rationnement individuel ou collectif. On en déduira la ou les solutions à préconiser. Il y aura autant de solutions que de cas particuliers. On ne peut recommander un mode unique de complémentation.

Dr. SOIROT — Vous nous avez signalé que les oligoéléments renforçaient la résistance des animaux au parasitisme. Comment interviennent-ils ?

Dr. LAMAND — Il ne faudrait pas conclure à une relation de cause à effet entre les injections retard et le parasitisme. J'ai seulement constaté avec intérêt que les animaux injectés avaient subi un amaigrissement moindre. Le but du tableau présenté était de rappeler qu'avec un nombre faible d'animaux on avait beaucoup de difficultés à trouver des différences statistiquement significatives. Ces différences sont peut être dues au hasard, il faudrait en savoir davantage. On ne peut qu'enregistrer les deux faits sans les relier.

Dr. BROCHART — Les oligoéléments peuvent jouer un rôle spécifique dans la résistance générale de l'organisme. Ils permettent une croissance et un métabolisme normaux ; de ce fait la résistance se trouve renforcée. Je ne pense pas qu'ils aient une action spécifique sur le parasitisme.

M. DELAHAYE — On fait appel à l'entraide entre les éleveurs et la recherche, or cette entraide peut entraîner au niveau de l'exploitation soit des dépenses d'équipement complémentaires, soit des frais de fonctionnement, soit une perte de résultat économique si l'essai s'avère malencontreux. Existe-t-il dans le budget de la recherche des crédits qui permettent de faciliter cette coopération ?

M. RICHET — Non, c'est pourquoi il faut passer par l'étape intermédiaire des domaines expérimentaux soit de l'I.N.R.A. soit des Lycées Agricoles. Ensuite, lorsque des solutions sûres, sans risque sont obtenus, elles peuvent être étendue à toute la profession.

Dr. BROCHART — L'I.N.R.A. a quelques possibilités très limitées. Mais je pense qu'il circule des fonds en quantités parfois considérables, gaspillés de façon scandaleuse dont une partie pourrait servir à la mise en place d'expérimentations avec un poste budgétaire permettant de couvrir les risques encourus.

M. RICHET — Dans un premier stade la profession pourrait nous apporter son aide sans trop de frais pour nous permettre de préciser les doses utiles d'apport au sol ou de pulvérisations foliaires.

M. METTAUER — Avez-vous des données sur les teneurs en oligoéléments des sols dans les domaines de Château Salins et de Mirecourt.

Mme PERIGAUD — Nous n'avons pas d'analyse mais par contre on connaît le comportement de ces sols par référence à des études effectuées sur des sols similaires. Les marnes du Keuper sont très pauvres et il y a eu des carences décelées sur des animaux. Le Sinémurien se caractérise par un excès de molybdène. Cet excès est vu également un peu plus au sud que le domaine en question.

J'ajouterai un mot sur la différence entre les résultats de M. COPPENET et ceux obtenus par M. RICHET à Mirecourt et Château Salins. Il faut rechercher l'explication à deux niveaux. C'est d'abord une question de sol ; les sols de Bretagne bloquent énormément le cuivre tandis que les autres doivent le bloquer beaucoup moins. La deuxième raison est que les chiffres donnés par M. COPPENET proviennent tous de Ray-grass d'Italie tandis que ceux de M. RICHET à Mirecourt ou Château Salins ont été obtenus à partir de prairies naturelles ou bien d'un mélange luzerne-dactyle. Il y a une différence fondamentale de comportement entre les deux catégories. Dans des essais comparatifs à Theix, qui représente une autre situation de sol, les Ray-grass d'Italie font partie des plantes qui réagissent nettement le moins aux enrichissements attendu que certaines plantes de prairies naturelles, les luzernes et surtout les dactyles réagissent beaucoup plus. Je confirme ce que M. RICHET a dit tout à l'heure. En fait, il nous faudrait actuellement un certain nombre d'expérimentations complémentaires dans des sites différents de ceux étudiés jusqu'à présent. Pour l'instant on n'en connaît que trois : celui de Bretagne (Ouest), de l'Est et de Theix.

M. DARPOUX — Je voudrais revenir sur ce qu'a dit M. RICHET concernant l'utilisation des domaines des Lycées Agricoles. Nous avons incontestablement des possibilités considérables d'expérimentations et qui sont très nettement sous utilisées. Seulement, je voudrais quand même souligner que pour nos établissements le problème est pratiquement le même que celui des agriculteurs. Nos domaines ne sont pas subventionnés, ils doivent assurer leur propre rentabilité et si nous entreprenons des expérimentations coûteuses, il faut que nous trouvions une compensation. Tout à l'heure le Dr. BROCHART a fait allusion à d'autres sources possibles de crédit que celles de l'I.N.R.A. Je suis parfaitement d'accord mais malheureusement nous, établissements publics, lorsque nous voulons poursuivre des essais et assurer leur financement, d'une façon très générale, nous ne pouvons avoir accès qu'à des crédits qui nous sont donnés par les Instituts Techniques ou par des Organismes de Développement qui font plus ou moins de la recherche appliquée. Nous sommes obligés de passer avec eux des conventions. C'est en définitive très regrettable parce que beaucoup d'entre eux ne font pas preuve d'un enthousiasme particulier (avec certains cela se passe au contraire très bien). Il est quand même regrettable, à mon sens, que les établissements publics soient obligés d'aller solliciter, je dirais presque mendier des crédits auprès d'établissements qui eux sont plutôt des établissements privés et, pour obtenir des crédits qui, en définitive, autant que je sache, sont quand même des crédits publics.

ANONYME — Dans l'essai que vous avez rapporté, vous précisez que le contrôle a été fait 40 jours après l'apport au sol. Il semble qu'il y ait une différence assez nette entre vos résultats et ceux de Mme PERIGAUD et de M. COPPENET. Je voudrais demander à M. COPPENET si, dans ses essais, les apports au sol ne se situaient pas beaucoup plus en avant dans le temps. La réserve que je fais concernant M. RICHET est la suivante, votre méthode de travail s'apparente plus à de la pulvérisation foliaire que vous faites 35 ou 40 jours avant la période de consommation. C'est peut être là la raison de la divergence de vos résultats avec ceux de M. COPPENET qui, je pense, faisait des apports au sol vrais.

M. COPPENET — Les apports, sur la prairie de Ray-grass déjà implantée, ont été faits en janvier, à sec, mais cela revient au même que si l'on avait mis en solution. Les récoltes, au stade pâture, ont eu lieu en avril, juin et juillet.

ANONYME — Vous avez des enrichissements de 4-5 ppm alors que là on retrouve 104 ppm. Donc, c'est même une divergence considérable et on peut se demander si la deuxième méthode n'est pas en fait un saupoudrage, disons que cela s'apparente beaucoup plus à de la pulvérisation foliaire.

M. COPPENET — Oui mais avec des doses de cuivre convenant pour un apport au sol. Une pulvérisation foliaire c'est 150 g/ha et un apport au sol c'est au moins 7 kg/ha.

Mme PERIGAUD — Il y a des pluies qui sont intervenues dans l'intervalle ; on a vérifié qu'il n'y avait plus de sulfate de cuivre sur les feuilles. En fait ce n'est pas une pulvérisation foliaire qui est faite en fin d'hiver mais un apport de cuivre sous forme liquide avec de très grosses gouttes qui tombent très rapidement sur le sol, d'autant plus qu'il n'y avait pas d'adjuvant. C'est donc bien une absorption par les racines. Lorsqu'on met en comparaison des plantes de précocités très différentes, les plantes précoces s'enrichissent substantiellement ; nous avons obtenu de notre côté des chiffres de 100-110 ppm. C'est apparemment une question d'intervalle de temps entre l'apport et le début de la pousse. Et cette année, que ce soit à Mirecourt ou à Theix, il n'y a pratiquement pas eu d'hiver, les plantes précoces ont démarré très tôt.

PROBLEMES SOULEVES SUR LES PLANS BIOLOGIQUE ET LEGISLATIF PAR L'ADJONCTION D'OLIGO-ELEMENTS AUX ALIMENTS DES ANIMAUX*

R. FERRANDO

Laboratoire de Nutrition et d'Alimentation
Ecole Nationale Vétérinaire - 94701 ALFORT

La question de la législation des oligo-éléments, présents dans les aliments simples, composés ou complémentaires apparaît complexe. Sans parler des synergies ou des antagonismes possibles, il existe plusieurs oligo-éléments qui, indispensables à faibles doses, risquent d'être dangereux au-delà d'un certain taux présent à l'état naturel ou d'incorporation préméditée dans un aliment composé ou complémentaire. Ces deux dernières catégories sont constituées d'aliments simples, organiques ou inorganiques, qui, à l'état naturel, contiennent des quantités d'oligo-éléments tantôt insuffisantes, tantôt importantes. Aliments composés et aliments complémentaires sont également utilisés dans certaines espèces, en particulier chez les animaux des espèces bovine, ovine, voire même équine, en vue de parfaire l'équilibre de rations de base comprenant des fourrages, employés tels quels ou conservés de diverses manières, des racines et des tubercules ou leurs sous-produits. Citons à titre d'exemple, pour la farine de colza, des teneurs en zinc allant de 34 à 73 ppm et, en manganèse, de 39 à 79 ppm (BRAGG et SEIER, 1974). La variété de composition de ces aliments simples traduit les inconstances des milieux et les fluctuations biologiques qui en résultent à travers la complexité des relations sols-plantes. Ces fluctuations se répercutent sur les animaux de façon plus ou moins intense selon l'espèce et la fonction physiologique exploitée. L'utilisation plus ou moins rationnelle des engrais vient encore compliquer la nature de ces relations.

Nous avons longuement examiné celles-ci dans une revue d'ensemble (FERRANDO, 1972). La figure I, empruntée à cette étude, illustre les facteurs qui, chez les animaux, déterminent les besoins en oligo-éléments et règlent leur couverture.

Dans ces évaluations, on devra également considérer la diversité des méthodes d'analyses des oligo-éléments, désirables et indésirables, et la relativité des résultats obtenus.

Certes, de grands progrès ont été accomplis dans le domaine des techniques mais la précision que ces progrès assurent nécessite souvent l'emploi d'appareils coûteux. Les budgets dont disposent les laboratoires de contrôle privés ou publics ne permettent pas toujours leur acquisition et leur fonctionnement en continu. Enfin, l'inventaire de la teneur en oligo-éléments des divers aliments simples des animaux, selon ces procédés modernes d'analyse, est loin d'être complet. Pour les raisons avancées plus haut, il ne le sera sans doute jamais totalement. Des révisions seraient à faire périodiquement dans ce domaine comme dans celui de l'estimation des besoins des animaux domestiques. Ce qui convient à un animal relativement rustique ne suffit pas à un animal perfectionné à haute productivité mais ce qui est suffisant pour celui-ci peut devenir exagéré pour celui-là. La plasticité des métabolismes atténue heureusement cela mais, si cette plasticité autorise l'usage de marges de sécurité, cet usage apparaît contraire aux normes trop absolues des partisans de la mathématique alimentaire. L'existence de telles normes jette souvent le trouble dans certains esprits.

Il est donc fondé d'estimer complexe la question d'une réglementation visant à mettre de l'ordre dans un désordre issu de la nature même des choses. On comprend la prudence du législateur. Son intervention ne doit ni compliquer la tâche déjà lourde de contrôleurs de bonne volonté mais insuffisamment nombreux et surmenés, ni risquer de susciter des conflits entre fabricants et utilisateurs, tout en contribuant à augmenter le prix des aliments.

L'administration, heureusement aidée par la plasticité métabolique des organismes que nous venons d'évoquer, est desservie par les craintes et les préjugés d'un public à l'égard des formes actuelles de l'alimentation animale, comme par le souci de certains de voir tout garanti même ce qui ne peut l'être efficacement. Des exemples permettront de concrétiser ces données. Ils se rapporteront plus particulièrement au fluor et au sélénium.

Le premier est un élément estimé, pour l'instant, indésirable. Le second apparaît comme posant sur tous les plans le plus de problèmes. A ce titre, il permet bien d'illustrer l'ambiguïté de la question traitée. Tous deux sont enfin les premiers des oligo-éléments ayant fait vraiment l'objet d'une réglementation.

* Les organisateurs remercient le Pr FERRANDO, qui n'a pu assister au Colloque, d'avoir néanmoins fourni le texte de son exposé pour publication.

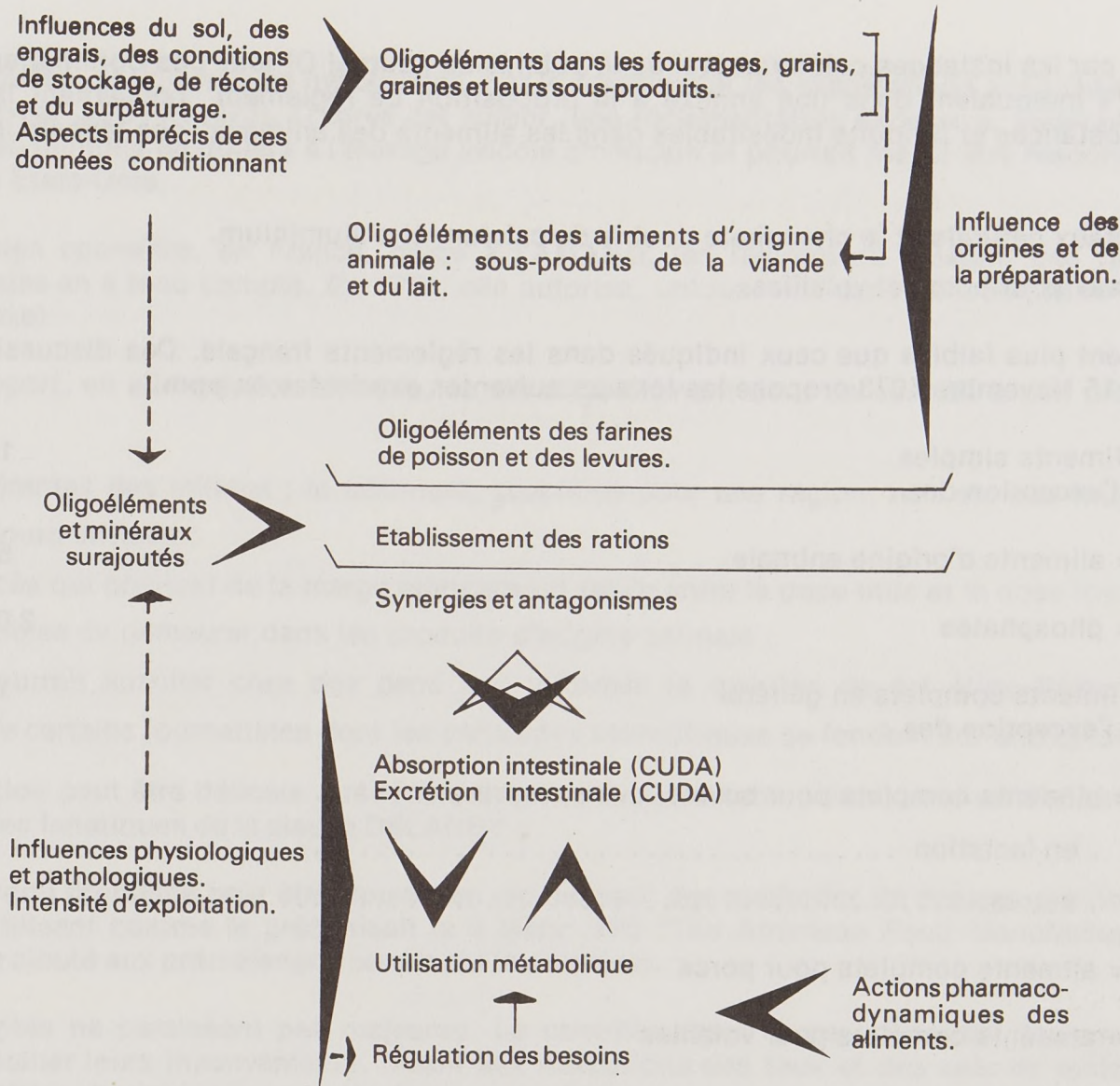


Figure I - Facteurs conditionnant les besoins des animaux en oligo-éléments et la couverture de ces besoins.

On connaît la différence de comportement des espèces animales vis-à-vis du fluor. Les animaux les plus sensibles sont ceux des espèces bovine, caprine et ovine. Les deux premières le sont d'autant plus que, comparativement à d'autres, leurs besoins en phosphore sont élevés. Les mélanges minéraux riches en phosphore risquent ainsi d'apporter un excès de fluor d'autant plus dangereux que la ration de base sera plus riche en calcium et présentera un rapport Ca/P élevé ou très élevé. Au contraire, les porcs et les volailles sont peu sensibles à la fluorose, d'abord spécifiquement, ensuite parce que leurs besoins en phosphore demeurent relativement plus faibles que leurs besoins en calcium.

Il reste enfin à noter que les dosages de fluor sont assez délicats à effectuer.

L'Arrêté du 9 Octobre 1961, paru au Journal Officiel du 15 Novembre 1961, a bien noté les différences spécifiques en considérant "comme impropre à la vente pour l'alimentation des animaux, au sens de l'article 6 du décret du 28 Juin 1949 :

1°) Les phosphates minéraux destinés à être vendus en l'état aux éleveurs, renfermant une teneur en fluor supérieure à 0,30 p. 100 de la matière sèche".

Dans deux autres paragraphes, le même arrêté définit les exigences concernant la teneur en fluor, toujours exprimée en pourcentage de la matière sèche, des composés minéraux et des produits composés destinés aux différentes espèces animales. Nous résumons ces données.

	Composés minéraux	Produits composés
Espèces bovine et ovine	pas plus de 0,30 p. 100 de F (3 000 ppm)	pas plus de 0,01 p. 100 de F (100 ppm)
Espèce porcine	pas plus de 0,45 p. 100 de F (4 500 ppm)	pas plus de 0,015 p. 100 de F (150 ppm)
Volailles	pas plus de 0,60 p. 100 de F (6 000 ppm)	pas plus de 0,035 p. 100 de F (350 ppm)

Les chèvres, oubliées dans cet arrêté, doivent être comprises avec les animaux des espèces bovine et ovine.

Le législateur a donc tenu compte des sensibilités spécifiques. Il a su couvrir à peu près la généralité des cas.

Les textes proposés par les instances communautaires et publiés au Journal Officiel des Communautés Européennes du 14 Avril 1971 N° C 34/4 indiquaient dans une annexe à la proposition de règlement "concernant la fixation de teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans les aliments des animaux" des teneurs identiques à celles de l'arrêté français pour :

- Les phosphates minéraux naturels et le phosphate double de calcium et d'aluminium.
- Les composés minéraux pour porcs et volailles.

Les autres taux étaient plus faibles que ceux indiqués dans les règlements français. Des discussions eurent lieu. Une directive de la CEE du 15 Novembre 1973 propose les teneurs suivantes exprimées en ppm.

Fluor (Directive CEE 15 Nov. 1973)	- Aliments simples	150
	à l'exception des :	
	= aliments d'origine animale	500
	= phosphates	2 000
	- Aliments complets en général	150
	à l'exception des :	
	= aliments complets pour bovins, ovins, caprins	
	. en lactation	30
	. autres	50
	= aliments complets pour porcs	100
	= aliments complets pour volailles	350
	= aliments complets pour poussins	250
	- Composés minéraux pour bovins, ovins et caprins	2 000 ppm (1) (2)

Ces exigences nous semblent trop sévères. Il est probable que la pénurie et les prix actuels du phosphore qui, à notre avis, ne s'atténueront guère dans les prochaines années, devraient inciter certains experts à adopter des positions plus libérales.

Le règlement français était bon. Il écartait le complexe psychologique de la fluorose qui, dans nos pays, existe simplement autour de quelques centres industriels. Il tenait compte des susceptibilités spécifiques conditionnant l'équilibre des rations. Il ne négligeait pas l'aspect économique. Plus généralement il considérait l'ensemble de la question.

* * *

Le cas du sélénium fournit quelques exemples valables de ce qu'il convient de faire ou de ne pas faire.

Dans la réglementation communautaire déjà citée (J.O. des Communautés du 14 Avril 1971 N° C 34/2 et suite) le sélénium est concerné par l'article 3 :

"Les substances et produits énumérés à l'annexe du présent règlement ne sont tolérés dans les aliments [et l'alimentation]^{°*} des animaux que dans les conditions fixées à cette annexe [ils ne peuvent être distribués dans le cadre de l'alimentation des animaux d'une autre manière]^{°°*}

L'annexe indique des teneurs maximales de :

- 1 ppm pour les aliments simples, à l'exception des farines de poisson pour lesquelles on tolère 3 ppm ;
- 1 ppm pour les aliments composés.

Ces taux tiennent compte de la faible marge qui existe entre la dose utile et la dose toxique. Ils négligent le fait que certaines farines de poisson peuvent contenir jusqu'à 5 ppm de sélénium et que la Bentonite peut en renfermer jusqu'à 20 ppm (X, Nal. Acad. Sci., Washington 1971). Pour le Colza on a, selon BRAGG et SEIER (1974), des variations de 0,37 à 1,76 ppm.

- (1) Les Etats membres peuvent également prescrire une teneur maximale en fluor égale à 1,25 p. 100 de la teneur en phosphore.
- (2) La délégation allemande a estimé que ce point devrait faire l'objet d'un examen ultérieur en vue de parvenir aussitôt que possible à une solution communautaire.

* Les parties entre crochets sont soit à ajouter[°], soit à supprimer^{°°} à la suite de modifications.

Les craintes provoquées, chez quelques hygiénistes, par le sélénium et les exagérations auxquelles elles ont conduit ont été mises en évidence par SCOTT (1973). D'après cet auteur, une réglementation excessive, inspirée de la fameuse clause DELANEY, a coûté des millions de dollars à l'élevage avicole américain et pourrait même être responsable de cancers dans certaines régions des Etats-Unis.

On commence à bien connaître, en France, grâce à LAMAND, les régions où existent des risques de carence. La réglementation française en a tenu compte. En 1973, elle autorisa, uniquement dans les composés minéraux, l'adjonction de sélénium (cf. annexe).

Les difficultés d'apport, en alimentation animale, de cet oligo-élément dont on connaît à peu près les rôles essentiels résultent :

- des conditions différentes des milieux ; le sélénium, problème pour une région, ne l'est pas toujours pour une autre ;
- de son dosage, toujours difficile ;
- des risques d'un excès qui provient de la marge relativement faible entre la dose utile et la dose toxique ;
- des résidus susceptibles de demeurer dans les produits d'origine animale ;
- des craintes que pourrait susciter chez des gens mal informés la mention de cet oligo-élément sur une étiquette ;
- des commentaires de certains journalistes dont les certitudes scientifiques se fondent sur une ignorance encyclopédique.

- La première question peut être délicate à résoudre sur un plan communautaire quand on s'enferme dans la théorie en raisonnant à l'image des fanatiques de la clause DELANEY ;

- La solution du second problème peut être trouvée en recherchant des méthodes de dosage, moins délicates à mettre en œuvre, ou bien, en utilisant comme le préconisait le 9 Mars 1970 "The American Feed Manufacturers Association", un marqueur convenable, ajouté aux prémélanges contenant le sélénium.

- Les autres difficultés ne paraissent pas majeures. Le contrôle strict d'une utilisation dans les seuls prémélanges minéraux permet de pallier leurs inconvénients. Quant aux indications des taux et des sels de sélénium utilisés, si elles doivent figurer sur les étiquettes des sacs de prémélanges minéraux, nous estimons nécessaire de les exclure des étiquettes des aliments complets ou complémentaires. Peut-être, afin d'éviter un double emploi dans les régions où la subcarence en sélénium a été constatée, serait-il toléré de mentionner que l'usage de l'aliment considéré dispense de tout autre apport de sélénium.

Les exemples du fluor et du sélénium montrent combien une réglementation en matière d'oligo-éléments apparaît délicate à mettre en œuvre.

*
* *

On sait que la France interdit tout apport d'antimoine et d'arsenic. Pour de tels éléments, et dans le cadre communautaire, le Journal Officiel des Communautés Européennes du 14 Avril 1971 mentionne, en annexe de la "proposition de règlement (CEE) du Conseil concernant la fixation de teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans les aliments des animaux", des oligo-éléments comme l'antimoine, l'arsenic, le plomb, le chrome, le molybdène, le mercure, le vanadium, voir même le bore, dont certains sont réputés nuisibles. Des teneurs maximales exprimées en mg/kilo (ppm) de matière sèche sont indiquées. Ce texte a été remanié. Une directive du Conseil du 17 Décembre 1973, publiée au Journal Officiel des Communautés Européennes du 11 Février 1974, ne considère plus que le cas de l'arsenic, du plomb et du mercure.

En ce qui concerne les éléments minéraux biologiquement intéressants, une première modification du 30 Novembre 1972 a été suivie d'autres propositions présentées en 1973 et en 1974. Si dans le projet R/90/74 (Agri. 17) du 16 Janvier 1974 la déclaration de Ca, Na, Mg, P, insoluble chlorhydrique est rendue obligatoire dans les prémélanges, il n'est pas question d'oligo-éléments. Ces derniers sont mentionnés dans la Directive du Conseil du 23 Novembre 1970, concernant les additifs dans l'alimentation des animaux (J.O. des Communautés Européennes du 14 Décembre 1970). Nous citons les passages s'y rapportant.

Article 4.

"1) Par dérogation à l'article 3 paragraphe 1 * les Etats membres peuvent admettre sur leur territoire l'emploi :

- a) pendant une période de cinq ans
 - d) du molybdène jusqu'à 2,5 ppm de l'aliment complet ;
 - e) du sélénium jusqu'à 0,5 ppm de l'aliment complet ;
-"

* Les Etats membres prescrivent que, dans le cadre de l'alimentation animale seuls les additifs énumérés à l'annexe I, et seulement dans les conditions qui y sont indiquées, peuvent être contenus dans les aliments des animaux. Ces additifs ne peuvent pas être distribués dans le cadre de l'alimentation des animaux d'une autre manière.

La période de 5 ans et les conditions d'utilisation des substances inscrites dans les annexes I et II sont actuellement en cours de révision.

On notera une contradiction entre les taux de sélénium indiqués dans cette directive et ceux publiés dans la réglementation du 14 Avril 1971 (cf. plus haut).

Article 8.

"1. Les Etats membres prescrivent que les aliments des animaux auxquels ont été incorporées les substances énumérées ci-après ne peuvent être commercialisés que si l'indication de ces substances est portée sur l'emballage, soit directement, soit au moyen d'une étiquette comportant les précisions suivantes :

.... a, b, c, d, e (concernant les divers additifs ; antibiotiques, coccidiostatiques etc.).

f) Cuivre : teneur exprimée en Cu, lorsqu'elle dépasse 50 ppm.

....

"2. Dans le cas des marchandises en vrac, les indications visées au paragraphe 1 peuvent être portées sur un document joint aux marchandises.

"3. La présence d'oligo-éléments ainsi que la présence de vitamines autres que les vitamines A, D et E peuvent être signalées dans la mesure où ces substances sont dosables selon les méthodes d'analyses officielles (1). Dans ce cas, les indications suivantes sont à fournir :

a) Pour les oligo-éléments : nature et teneur".

L'annexe I donne la liste des différents sels d'oligo-éléments retenus comme utilisables et la teneur maximale de l'élément exprimée en ppm de l'aliment complet à savoir :

Fer	1 250 ppm au total		
Iode	40 ppm	" "	
Cobalt	10 ppm	" "	
Cuivre	125 ppm	" "	(porcs)
	50 ppm	" "	(autres espèces animales)
Manganèse	250 ppm	" "	
Zinc	250 ppm	" "	

Mentionnons que l'article 9 de cette même directive (23 Novembre 1970) prescrit que ces taux peuvent être dépassés "s'il s'agit de produits délivrés aux fabricants d'aliments composés ou à leurs fournisseurs" ; "s'il s'agit d'aliments complémentaires, etc." Depuis cette date du 23 Novembre 1970, des modifications ont été apportées au texte initial et en particulier à l'article 9. C'est ainsi que dans une directive du Conseil du 28 Avril 1973, parue au J.O. des Communautés Européennes du 10 Mai 1973 (N° L 124/18), l'article 1 paragraphe 11 ne mentionne plus les oligo-éléments.

Les Etats membres ont appliqué ces directives pour tout ce qui intéresse les additifs tels que les antibiotiques, anticoccidiens, émulsifiants etc. L'application aux oligo-éléments demeure facultative. Leur présence "peut être signalée dans la mesure où ces substances sont dosables selon les méthodes d'analyses officielles".

Ces méthodes d'analyses officielles semblent actuellement à peu près au point, bien que, certaines d'entre elles, soient relativement en retrait par rapport aux techniques de pointe.

Etant donné la latitude dont nous disposons, comme pour les raisons indiquées au début de cet article, il importe de procéder progressivement, avec prudence, avant de généraliser les modalités des garanties qui devront figurer sur les étiquettes.

Pendant un certain temps les fabricants d'aliments pour animaux étaient d'accord pour entreprendre une tentative limitée d'indication de garanties faite en étroite liaison avec l'administration des Fraudes et du Contrôle de la Qualité, très disposée à favoriser une telle expérience. Ce projet ne s'est pas concrétisé, vraisemblablement à la suite de difficultés techniques, auxquelles la conjoncture économique actuelle ajoute des aspects financiers.

Ce projet doit être repris, sur une échelle restreinte, en ne considérant simplement que le cuivre, le zinc (2), peut-être le cobalt (3), et tout en mettant au point des méthodes permettant de doser aisément le sélénium. Ce premier programme est déjà difficile à remplir. Les résultats obtenus éclaireront sur la conduite ultérieure à tenir.

*
* *

(1) C'est nous qui soulignons.

(2) On pourrait également envisager le cas du manganèse et du fer.

(3) La méthode de dosage du cobalt n'est pas au point. Il en est de même pour l'iode.

Réglementer est toujours aisé. Réglementer sans contrôle demeure toujours inefficace. Il y a loin du travail de laboratoire accompli sur une échelle réduite, au travail de routine mettant en œuvre des équipes appartenant à des organisations diverses publiques et privées. En dehors des risques de déclenchement d'une guerre et (ou) d'une psychose des étiquettes, des erreurs peuvent être commises. Techniques ou psychologiques, elles exposent des hommes de bonne foi à des sanctions. Elles risquent de provoquer des conflits entre fabricants et éleveurs. S'il convient d'aider les uns et les autres, il ne faut pas apporter aux uns, au détriment des autres, une aide aléatoire et critiquable. Les instances, qui conseillent l'administration comme cette dernière, veulent que cette aide soit d'abord efficace car Administration et Commissions n'oublient pas la fable "L'ours et l'amateur des jardins", en particulier, sa conclusion et sa morale.

BIBLIOGRAPHIE

- BRAGG D.B., SEIER L., 1974 - Teneur minérale et activité biologique du sélénium dans la farine de colza. Poultry Sci., **53**, 22-26.
- FERRANDO R., 1972 - Les besoins en oligo-éléments des animaux domestiques et les conséquences de leur carence. Ann. Nutr. Alim., **26**, B 231 - B 325.
- SCOTT M.L., 1973 - The selenium Dilemma. J. Nutr., **103**, 803-810.
- X..., 1971 - Selenium in nutrition. Nal. Acad. Sci., Washington D.C., 79 pages.

N.B. Les références aux règlements français et communautaires sont mentionnées dans le texte.



ANNEXE

Extrait du COMMUNIQUE du Service de la Répression des Fraudes et du Contrôle de la Qualité

Juillet 1973

- III) Les sels de sélénium pourront dorénavant être incorporés aux concentrés minéraux et vitaminés, destinés à la complémentation des aliments complets, préparés industriellement, en vue de l'alimentation : du porc, des animaux des espèces bovine et ovine, des chevaux, des poulets, poules pondeuses et dindons.
- Les doses seront telles qu'elles devront apporter dans l'aliment fini un taux maximum de :

0,10 ppm (0,10 mg/kilo) en ce qui concerne toutes les espèces ci-dessus, à l'exception des dindons où ce taux pourra être de 0,25 ppm (0,25 mg/kilo).
- cf. feuille ci-jointe -

Les étiquettes, fixées aux emballages renfermant les concentrés, devront mentionner la nature et la quantité de sel de sélénium qu'ils contiennent et la concentration maximum en sélénium.

Ces concentrés ne seront utilisés que dans le cadre exclusif de la préparation industrielle des aliments complets et complémentaires. Ils ne devront, en aucun cas, être employés directement, ni commercialisés en élevage.

Il est rappelé que les ouvriers manipulant des sels de sélénium, lors de la préparation des concentrés, doivent être astreints au port du masque et des gants.

Annexe au communiqué d'autorisation d'emploi des sels de sélénium.

Doses limites, en mg/kilo, de sélénium dans les composés minéraux (1) selon leur taux d'emploi et la source de sélénium.

Espèce animale		Dans la matière sèche de la ration totale	Pourcentage d'emploi du composé minéral					
			0,5	1	2	3	5	6
Veaux-aliments d'allaitement	1°	0,10	20	10	5	4	2	1,7
	2°	0,22	44	22	11	7	5	4
	3°°°	0,47	94	47	24	16	9	8
Jeunes bovins Bœufs Vaches laitières	1	0,10	20	10	5	4	2	1,7
	2	0,22	44	22	11	7	5	4,0
	3	0,47	94	47	24	16	9	8,0
Animaux de l'espèce ovine	1	0,10	20	10	5	4	2	1,7
	2	0,22	44	22	11	7	5	4,0
	3	0,47	94	47	24	16	9	8,0
Porcs	1	0,10	20	10	5	4	2	1,7
	2	0,22	44	22	11	7	5	4,0
	3	0,47	94	47	24	16	9	8,0
Chevaux	1	0,10	20	10	5	4	2	1,7
	2	0,22	44	22	11	7	5	4,0
	3	0,47	94	47	24	16	9	8,0
Poulets de chair et Poules pondeuses	1	0,10	20	10	5	4	2	1,7
	2	0,22	44	22	11	7	5	4,0
	3	0,47	94	47	24	16	9	8,0
Dindons	1	0,25	50	25	12,5	8,3	5,0	4,1
	2	0,55	110	55	27,5	18,4	11,0	9,2
	3	1,17	234	117	50,0	39,0	23,4	19,5

(1) La teneur en matière sèche des composés minéraux est considérée comme négligeable.

- ° Teneur en sélénium.
- °° Teneurs exprimées en sélénite de sodium à 45,6 p. 100 de sélénium.
- °°° Teneurs exprimées en sélénate de sodium à 21,4 p. 100 de sélénium.

CONCLUSION

Dr. BROCHART

INRA St. de Physiopathologie de la Nutrition
CRZV THEIX - 63110 BEAUMONT

Dr. BROCHART — En ce qui concerne les relations roche-mère-sol, il semble que la région, prise au sens pédologique, la commune, l'exploitation, voire la parcelle sont autant de facteurs de variations influençant la composition en oligoéléments du sol. A ces données structurales, géochimiques et pédologiques se superpose entre autres l'influence extrêmement importante du climat.

Si j'ai bien compris, il est extrêmement difficile à partir d'analyse de sol de prévoir, hormis dans les très grandes lignes, ce qui se passera au niveau de l'exploitation. On sait, par exemple, qu'il y a des carences en cuivre en Bretagne et qu'il y en aura vraisemblablement toujours mais quant à affiner plus avant le diagnostic, il ne semble pas qu'on puisse aller très loin.

Sur ce premier point les agronomes sont-ils d'accord ? Faut-il nuancer ce que je viens de dire ?

Mme PERIGAUD — Disons que je n'introduis pas de nuance dans la mesure où on reste bien dans le contexte final du consommateur. Il est entendu que, dans le cas de carence végétale accusée avec déficit de rendement, des analyses de sol peuvent être très utiles.

Dr. BROCHART — Je ne veux pas dire qu'une analyse de sol est inutile pour caractériser un certain type de sol mais cela ne permet pas d'aller assez loin dans le détail, ni de prévoir des variations annuelles.

Si nous passons au végétal, les grands facteurs de variations évoqués sont l'espèce végétale, la vitesse de développement qui varie en fonction de nombreux facteurs essentiellement climatiques. L'importance de la fumure a été amplement démontrée en particulier au niveau azoté avec l'importante différence d'action des ions ammonium ou nitrates et la nécessité d'ions ammonium dans l'accumulation du cuivre.

Les points suivants sont à souligner :

- l'antagonisme $PO_4 \equiv - Zn$.
- L'importance décisive que peut avoir la fumure, en fonction des réserves du sol, pour augmenter ou diminuer, selon les conditions, les teneurs en oligoéléments.
- Le rôle important des amendements calcaires qui diminuent un certain nombre de teneurs en oligoéléments notamment cuivre, zinc.
- L'importance des façons culturales, le rôle négatif du tassement du sol.
- Le problème de l'aération du sol.
- Le problème de la luminosité qui a été évoqué par M. COPPENET.
- L'évolution de la composition botanique qui, dans les prairies naturelles, semble répondre beaucoup d'après M. DE MONTARD à un assez grand nombre de facteurs mais qui présente des possibilités d'évolution ce qui fait que pour un certain nombre d'oligoéléments, leurs teneurs semblent rester relativement constantes (manganèse mis à part qui reste lié au pourcentage de graminées).

M. DE MONTARD — M. LIBOIS (I.N.R.A., Agronomie Dijon) avait développé pour les éléments majeurs la notion d'espace nutritif. Un sol représente un certain espace nutritif que la végétation a tendance à exploiter complètement et cette notion peut sans doute avec des nuances être appliquée à des prairies permanentes. Finalement on change complètement de composition botanique et pourtant la composition du fourrage ne change pas systématiquement. C'est-à-dire que l'exploitation, par des plantes en compétition sévère, d'un espace nutritif limité, aboutit à de faibles variations dans la composition en oligoéléments des fourrages récoltés.

Mme PERIGAUD — Les amendements calcaires ont surtout un effet négatif sur le manganèse, un peu sur le zinc et le cuivre et un effet positif sur le molybdène.

Dr. BROCHART — Au stade de la plante et des carences végétales, nous avons appris qu'il peut y avoir des carences en fer, en bore, en manganèse, en cuivre, en zinc (notamment sur le maïs) et en molybdène. Voilà donc quelles sont les carences affectant le végétal et qui a fortiori vont intéresser l'animal puisque les exigences de l'animal sont supérieures, la plupart du temps, à celles du végétal. Peut-on intervenir pour mettre en évidence des carences au niveau végétal ; il semble que oui. La difficulté toutefois est de trouver l'échantillon représentatif. Mme PERIGAUD a insisté sur le fait que l'on doit choisir soit le foin, soit l'ensilage ; quant à l'herbe le diagnostic arrivera toujours une fois celle-ci consommée. De plus, l'évolution des teneurs au cours des cycles de végétation est telle qu'il ne semble pas qu'on puisse utiliser le diagnostic au niveau de la plante en croissance à des fins zootechniques immédiates. Cela ne peut avoir qu'un intérêt disons rétrospectif.

Ceci étant, il est évident que la détermination d'un ou plusieurs oligoéléments au niveau d'un fourrage n'exclut pas que les interactions puissent altérer une idée que l'on se fait de la valeur d'un fourrage, notamment en fonction de la digestibilité du reste de la ration.

A partir des analyses de fourrages qui ont été effectuées en France depuis un certain nombre d'années, on peut estimer que les subcarences sont vraisemblables chez l'animal dans un pourcentage extrêmement élevé de cas en ce qui concerne le cuivre et le zinc. En retenant les seuils de sécurité classiques, 95 % des fourrages sont vraisemblablement subcarencés pour l'animal en cuivre et en zinc, 18 % en manganèse, 60 % en cobalt. Il se pose donc le problème de la compensation de ces carences, mais auparavant peut-être est-il bon de rappeler très brièvement les conséquences que ces carences sont susceptibles d'avoir au niveau de l'animal.

La carence en iode provoque du goître chez les jeunes, la carence en cuivre provoque des troubles cardiaques, et des décolorations du pelage. Le cobalt provoque de la cachexie. Le zinc des chutes de poils et des dermites. La carence en manganèse entraîne le jarret droit. Ces symptômes sont relativement spécifiques et ils peuvent permettre de suspecter dans les exploitations des carences dans les éléments considérés. En plus de ces symptômes relativement spécifiques, on observe toute une série de troubles qui, sur le plan économique, ont des conséquences extrêmement importantes. Ce sont : l'arrêt de croissance, la baisse de lait (exposé de M. CROSSET-PERROTIN), les problèmes de fécondité, la fragilité des jeunes, et du fait de perturbations métaboliques, une plus grande sensibilité aux maladies. Toutes ces manifestations rigoureusement non spécifiques peuvent être causées par de nombreux autres facteurs alimentaires.

Il se pose alors le problème de la supplémentation, soit au niveau du végétal, soit au niveau de l'animal. J'ai retenu personnellement du problème d'enrichissement au niveau végétal, par apport au sol, les points suivants :

- L'enrichissement au niveau du sol utilise des doses très élevées.
- Les résultats dépendent fortement du moment de l'année.
- On peut avoir des surcharges importantes.
- Cette méthode présente un certain nombre de risques et elle ne peut être envisagée qu'avec une maîtrise des conditions d'environnement et une maîtrise technique de haut niveau.

En ce qui concerne la pulvérisation foliaire, son efficacité semble dépendre des conditions climatiques et de la plus ou moins grande précocité de l'application. La forme chimique de l'élément utilisé sera déterminante pour le succès futur de cette méthode ; les formes oxydes sont peut-être l'avenir dans la mesure où elles ont une action plus rémanante que les formes solubles.

Mme PERIGAUD — L'enrichissement par apport au sol dépend moins de la technicité des agriculteurs que d'une connaissance insuffisante de la réaction des différents types de sols en France. En fait l'apport au sol est très facile à réaliser mais on n'est encore incapable de vous dire que, dans telles et telles conditions, il faut s'y prendre de telle ou telle façon. Par contre, pour la pulvérisation foliaire, le maniement nous paraît plus clair à nous, mais cette technique est plus difficile à mettre en œuvre par l'agriculteur.

Dr. BROCHART — L'autre possibilité c'est la supplémentation de l'animal ou le traitement lors de carences accusées. Cette supplémentation pose de nombreux problèmes. Doit-elle être systématique et on aurait tendance à le penser quand on regarde en France la fréquence des carences en cuivre et en zinc et même en cobalt ? Doit-elle être une supplémentation nationale passe-partout ou régionalisée là où c'est nécessaire ? Y-a-t-il des risques de surdosages quand à une alimentation standardisée de base se superpose, notamment par l'intermédiaire des concentrés vaches laitières, un deuxième apport en oligoéléments ? Y-a-t-il un risque de pollution ? Un chiffre d'un siècle a été avancé. Cela paraît raisonnable mais peut-être ne faut-il pas condamner l'avenir de l'agriculture en disant : "Après nous le déluge, on verra bien dans un siècle !".

Au niveau de l'animal, que peut faire le laboratoire en matière de diagnostic à partir de suspicion établie sur le plan clinique. Dans un nombre raisonnable de cas, le diagnostic est possible notamment par la détermination du cuivre et du zinc plasmatique. Mais se pose le problème du développement de l'infrastructure de laboratoires aptes à faire rapidement ces analyses et de les interpréter correctement. Le problème du traitement va évoluer sans doute favorablement s'il se révèle que les injections retardées sont efficaces. Il peut se poser alors le problème des résidus médicamenteux mais il ne semble pas qu'il existe.

Comment peuvent réagir les 1 500 000 exploitants et les 50 000 000 de consommateurs devant le problème que nous avons évoqué ? Le problème est assez sérieux, car nous avons une minorité d'exploitants qui bénéficient d'un bon encadrement technique, qui peuvent avoir accès aux analyses, qui peuvent les payer et puis une large majorité, notamment en matière d'éleveurs bovins, qui n'ont pas le niveau technique suffisant qui leur permet de répondre aux problèmes qu'ils auront à affronter en matière d'oligoéléments. Je pense qu'il y a un énorme effort à faire en matière de vulgarisation au niveau de l'éleveur de base. Il y a à élever le niveau des techniciens agricoles qui ne sont pas encore familiarisés avec ce problème. Les vétérinaires doivent faire de grands efforts, eux aussi, pour s'emparer de cette nouvelle pathologie et mieux la maîtriser. Cet effort commencé depuis quelques années est à poursuivre et à intensifier dans les perspectives que nous allons affronter dans les années qui viennent, notamment avec la généralisation de l'ensilage de maïs qui va poser de plus en plus de problèmes.



DISCUSSION GENERALE

Dr. SIMOULIN — On nous a dit que l'ensilage de maïs et le foin étaient plus pauvres en oligoéléments que l'herbe jeune. Peut-on conclure que l'ensilage d'herbe sera plus riche en oligoéléments ? Que faut-il penser de la moindre digestibilité de ces oligoéléments dans les ensilages ?

Mme PERIGAUD — Il y a une décroissance systématique et continue de la teneur en tous les oligoéléments entre le stade herbacé et le stade foin. Cette décroissance est fonction de la plante et, même dans les prairies naturelles, qui tamponnent beaucoup les phénomènes, on retrouve toujours ce classement : herbe au stade pâture, herbe au stade ensilage et foin.

Dr. LAMAND — On a montré que le cuivre tendait à être moins digestible dans les ensilages. Pour le zinc ce serait plutôt l'inverse. On a observé une différence entre témoins et traités mais sans indiquer l'importance de la différence. Autrement dit, on n'a pas suffisamment d'éléments d'informations sur l'ordre de grandeur de la chute de digestibilité du cuivre dans les ensilages. Néanmoins, le tableau que je vous ai montré rappelle des expériences sur graminées ou légumineuses qui ont été faites en majeure partie sur des ensilages.

Dr. GANSEL — En cas de suspicion de carence en oligoéléments dans un cheptel, quels prélèvements peut-on effectuer, sang, poils, fourrages secs ou verts ? Si on dispose d'un cadavre quels sont les viscères à prélever ?

Dr. LAMAND — Quand on suspecte une carence en oligoéléments, on a déjà posé un minimum de diagnostic clinique pour orienter la suite. Le dosage des principaux fourrages de l'exploitation offre le meilleur rapport prix - prestations. Si les résultats sont nettement inférieurs aux seuils de carence, celle-ci sera confirmée. S'ils sont voisins des seuils, il faudra penser à des problèmes de digestibilité. Si l'aliment est de mauvaise qualité, il faudra, en particulier pour le zinc qui est alors peu digestible, considérer que la quantité d'oligoélément utilisable par l'animal est inférieure au chiffre fourni par l'analyse.

Le plasma semble un bon prélèvement. Mais il pose d'énormes difficultés au point de vue réalisation pratique. Il importe d'avoir un plasma en bon état, non hémolysé, c'est-à-dire que cela implique une centrifugation sur place, dans un matériel non contaminant et l'expédition non pas du sang nature, mais du plasma. Ce plasma peut donner des renseignements valables pour le cuivre, soit le cuivre plasmatique lui-même, soit la céruloplasmine qui est un bon reflet du cuivre circulant. Pour le zinc il est extrêmement intéressant d'avoir le zinc plasmatique. Il a l'inconvénient d'être sensible aux contaminations, et à l'hémolyse puisqu'il y a cinq parties de zinc dans les hématies contre une dans le plasma. On peut également doser très valablement les transaminases, qui seront un reflet précoce de la myopathie puisqu'elles évoluent environ un mois avant l'apparition des symptômes. Donc on peut faire un sondage systématique dans un troupeau et avoir une vue assez bonne de la situation. Le cobalt et la vitamine B12 dans le plasma sont assez coûteux. Pour l'iode, on a l'iode hormonal. Le manganèse plasmatique n'a aucune signification clinique. L'hématocrite est un excellent reflet de l'anémie. Mais l'anémie est plus un reflet de la carence en fer que celui de la carence en cobalt. L'échec thérapeutique devrait orienter plutôt vers la carence en cuivre. Quant à la carence en cobalt et l'anémie il est difficile de trancher. Le poil a l'inconvénient d'être sensible aux contaminations et aussi d'être un reflet très tardif. Il va indiquer une carence ayant sévi il y a quelques temps (environ deux mois) et une carence relativement profonde. Sinon on aura des valeurs autour des seuils de carence.

Sur le cadavre, le foie est un bon reflet des réserves en cuivre, en vitamine B12 et en sélénium. Mais le foie n'aura pas d'intérêt pour le zinc. En cas d'intoxication par le cuivre le foie est le prélèvement préférentiel.

Les échantillons seront prélevés avec du matériel inox et expédiés dans des sacs en plastique. On peut congeler les prélèvements. En effet, les minéraux, la transaminase et la céruloplasmine résistent bien à la congélation. Il faut par contre absolument éviter des successions de décongélations et recongélations. L'envoi des échantillons à l'état congelé est parfait mais il n'y a qu'un moyen de les conserver congelés c'est la neige carbonique qui ne se trouve pas partout.

Il faudra que les praticiens se décident à avoir un jour, chez eux, un mini-laboratoire. Il existe du matériel peu coûteux de l'ordre de 1 500 F pour les centrifugeuses, du matériel plastique à jeter, livré propre et non contaminé.

Dr. BROCHART — La place de la centrifugeuse est dans la voiture car le plasma doit être centrifugé dans l'heure qui suit le prélèvement.

ANONYME — L'heure du prélèvement est-elle importante ?

Dr. LAMAND — Effectivement, il peut se poser le problème du rythme nycthéméral de l'évolution de ces minéraux plasmatiques. J'ai pu vérifier qu'il n'y avait pratiquement pas d'évolution susceptible de modifier le diagnostic, en fonction de l'heure de la journée. De même, l'influence du repas est négligeable. L'heure du prélèvement n'importe pas.

ANONYME — A quel endroit faut-il faire parvenir les prélèvements de sang ?

Dr. LAMAND — C'est un problème. Il faudrait effectivement, comme le disait le Dr. BROCHART, des laboratoires régionaux, qui n'existent pas. Il est peut-être possible que M. THEILER puisse accepter quelques échantillons mais cela sera toujours limité.

Dr. BROCHART — J'ai eu récemment une réunion avec les Directeurs de Laboratoires départementaux vétérinaires. J'ai essayé de sensibiliser un certain nombre de laboratoires à ce problème. Je pense qu'il sera résolu dans le futur. Actuellement, je sais qu'un certain nombre de praticiens font appel aux laboratoires d'analyses médicales. En ce qui concerne les oligoéléments, je doute que ces laboratoires soient équipés, notamment en absorption atomique.

M. BELLANGER — Les laboratoires dosant déjà le calcium peuvent passer rapidement au cuivre et au zinc.

M. OLIVIER — La France Agricole fait en ce moment une enquête sur les différents laboratoires qui existent en France. Je pense que cette étude va sortir prochainement.

ANONYME — Je vous signale que le laboratoire central de Biochimie de l'Ecole Vétérinaire de Toulouse fait des profils métaboliques et est intéressé par des demandes d'analyses. Le prix est modeste, 20 F pour 8 à 10 éléments.

M. OLIVIER — Notre enquête porte sur les laboratoires susceptibles d'effectuer des analyses de sol. Cela ne couvre pas les analyses sanguines.

M. BELLANGER — A condition de posséder un appareil d'absorption atomique, les dosages du cuivre et du zinc plasmatiques sont beaucoup plus faciles que les dosages dans les sols ou les fourrages.

ANONYME — De nombreuses firmes proposent aux éleveurs des présentations liquides de minéraux et d'oligoéléments. Ces présentations s'utilisent dans l'eau de boisson ce qui pose déjà des problèmes de distribution aux ruminants. De plus leur coût est élevé, en moyenne cinq fois plus que les présentations solides. L'argumentation est basée sur la digestibilité élevée (environ 100 %) et sur la disponibilité des minéraux ainsi présentés.

Dr. LAMAND — Je crois qu'il faut d'abord considérer qu'une prophylaxie doit être peu coûteuse. Ces apports par voie liquide sont peut-être possibles. Encore faut-il contrôler qu'ils sont efficaces. Quant à dire qu'ils sont plus digestibles, c'est peut-être un leurre car les mélanges minéraux sont des sels solubles. On ne voit pas pourquoi ils seraient moins digestibles sous forme solide que sous forme liquide. Quant à compenser un prix nettement plus élevé par quelques points de digestibilité, ce n'est pas très rentable.

ANONYME — Certaines présentations liquides comportent des chélateurs qui, au dire du vendeur, améliorent très nettement la digestibilité et l'utilisation des oligoéléments. Que faut-il en penser ?

Dr. LAMAND — Au début, l'attention a été attirée sur ces chélateurs qui améliorent, c'est vrai, l'absorption des oligoéléments. On s'est aperçu que, s'ils améliorent l'absorption, ils augmentent encore plus l'excrétion urinaire. Donc, au contraire, ils provoquent une fuite plus importante de ces oligoéléments. Et enfin, ces chélateurs peuvent chélater d'autres minéraux et provoquer des désordres. On relate des accidents de toxicité avec ces différents chélateurs. Je crois qu'il est prudent, dans l'état actuel des connaissances, d'éviter de les utiliser.

ANONYME — La présence simultanée d'oligoéléments et de vitamines liposolubles dans les composés minéraux est-elle recommandée compte-tenu des risques quant à la conservation de ces vitamines ? La réponse est-elle la même suivant la présentation du produit, c'est-à-dire que ce produit soit solide ou liquide ?

Dr. LAMAND — Effectivement, il y a un risque d'oxydation des vitamines en présence de minéraux et je crois que si on peut, pour des raisons matérielles, avoir deux présentations séparées, cela sera plus efficace. La conservation des produits à part sera nettement meilleure. Evidemment, la dépense en main d'œuvre sera plus importante ; il y aura deux distributions au lieu d'une. Si on mélange le tout, la conservation des vitamines sera raccourcie. Eventuellement, on peut en tenir compte. Je crois qu'un calcul de rentabilité peut apporter une réponse.

Dr. LAFAY — On a mis en évidence plus de subcarences que de carences graves. Pour les guérir, faut-il proposer aux éleveurs des apports systématiques ou des apports raisonnés ? Faut-il apporter les oligoéléments systématiquement dans les condiments minéraux et lorsque le besoin s'en fait sentir utiliser soit les injections, soit les cures (pierres à lécher, suppléments enrichis en oligoéléments) ? Or, les besoins varient avec les niveaux de production, l'apport systématique par l'intermédiaire d'un condiment minéral passe-partout et bon marché, puisque fabriqué en grande quantité, ne conviendra pas dans toutes les exploitations. On sera donc amené, dans ce cas, à utiliser le deuxième mode d'apport.

Dr. LAMAND — Je voudrais relever une erreur dans votre question. Il n'y a pas de besoin de production en oligoéléments (hormis pour l'iode). En fait, nos connaissances sur les oligoéléments ne sont pas encore suffisantes pour pouvoir distinguer entre le besoin global et les différents besoins de croissance, de production...

La prophylaxie doit être toujours faite. Je préfère le long terme et toute l'année. Il est peut être possible de changer de mode d'administration en cours d'année. Par exemple, les laitières peuvent recevoir un complément minéral à l'auge en salle de traite puis, lorsqu'elles passent en pâture, recevoir une pierre à lécher. Celles-ci doivent être utilisées à long terme plutôt qu'en cure de choc. Un notable excès, à un moment donné, en négligeant ultérieurement les apports réguliers est néfaste. Si le cuivre, le sélénium et le manganèse ainsi que la vitamine B12 s'accumulent dans des réserves, il ne faut pas oublier que la flore a besoin de cobalt tous les jours, et que le zinc, lui, ne se stocke pas. En conclusion, avec les cures on ne réalise pas un optimum. Par ailleurs, on peut risquer par ces surcharges des accidents de toxicité.

Dr. LAFAY — En ce qui concerne le niveau de production, je pensais plus aux variations de l'alimentation qui se rencontrent lorsque l'on a deux lots d'animaux de production fortement différentes. Les animaux à haut niveau de production ont une alimentation beaucoup plus synthétique et moins variée que celle des animaux à faible production. Donc les risques de carences augmentent.

Le problème est de savoir si l'on adopte une supplémentation passe-partout puisque les subcarences sont quasi-généralisées en France ou si l'on personnalise la supplémentation en fonction des caractéristiques de chaque élevage.

Dr. LAMAND — Je ne pense pas qu'il faille descendre trop bas. Le condiment national unique est sans doute néfaste en ce sens qu'il faut quand même un minimum de connaissances des conditions du terrain, le condiment régional semblerait l'optimum, le condiment propre à l'éleveur c'est demander beaucoup et perturber gravement les circuits commerciaux. Il y a un équilibre à trouver.

M. DESWYSEN — La digestibilité des oligoéléments apportés par les plantes et celle des oligoéléments apportés par un condiment minéral sont-elles différentes ? Si oui pourquoi et quelle est la différence ?

Dr. LAMAND — Nous avons ce problème à l'étude. A Theix, nous avons des animaux en bilan sur un Ray-Grass. Celui-ci est porté à 14 ppm en cuivre par pulvérisation foliaire. Le témoin fait 8 ppm et nous allons distribuer la différence sous forme de sulfate de cuivre par la bouche.

M. RUSSEIL — Même question en ce qui concerne la toxicité ?

Dr. LAMAND — En réalité votre question peut être élargie de la manière suivante : le minéral inclu dans la plante est-il plus digestible qu'un minéral sous forme de sels chimiques ? A cette question, il n'y a pas de réponse claire car les résultats des différents auteurs divergent trop pour qu'on puisse conclure.

Dr. MITTON — Le Dr. BROCHART a évoqué hier la synergie toxique des injections simultanées de cuivre et de vitamine A. Quel est le mécanisme d'action de cette synergie et comment se fait-il qu'il n'y ait pas plus d'accidents sur le terrain étant donné que certains produits contiennent à la fois du cuivre et de la vitamine A ?

Dr. BROCHART — Je me réfère à la littérature. Je pense qu'il s'agissait probablement d'un surdosage en vitamine A.

Dr. HENRY — Je me permets d'attirer l'attention des chercheurs sur le problème des fractures spontanées à la mise au pré. Ces fractures sont très fréquentes dans l'Allier au mois d'Avril. Cela peut dépasser le millier. Peut-on organiser une prévention de ces accidents ? A défaut de la faire par un condiment minéral peut-on utiliser les injections retards ? Combien de temps faut-il intervenir avant la mise au pré présumée ?

Dr. LAMAND — C'est une question embarrassante. Effectivement vous incriminez une carence en cuivre, ce qui est très probable. Le problème est de savoir en combien de temps on pourra ramener une résistance mécanique convenable à l'os ? Là, je n'ai pas de réponse bien précise.

M. REDLICH — Nous avons rencontré dans un haras des problèmes semblables avec des jeunes en début de l'entraînement. Nous avons eu 45 % des animaux atteints. Nous avons constaté une carence très grave en cuivre. Nous avons apporté du cuivre dans la ration et nous avons obtenu en deux ans une diminution du taux des accidents de 45 à 4 %.

Dr. LAMAND — Je pense que la guérison sera longue.

M. REDLICH — Il y a un point très important qui n'a pas été cité. Les besoins en oligoéléments sont-ils fonction de l'âge ? Nous avons pu constater que les besoins en oligoéléments des jeunes sont beaucoup plus grands que ceux des adultes, ce qui semble normal, attendu que les adultes ont pu se constituer des réserves. Si nous faisons des diagnostics visuels dans les exploitations, nous constatons que c'est surtout chez les jeunes que nous voyons plus facilement les symptômes de carence, notamment en cuivre et en manganèse.

Dr. LAMAND — Je suis d'accord avec vous. Les jeunes extériorisent plus facilement les carences que les adultes mais je ne pense pas qu'ils aient des besoins plus élevés. Plusieurs auteurs ont montré que la digestibilité des oligoéléments était nettement plus élevée chez les jeunes vis-à-vis des adultes. Je crois qu'il y a aussi des variations individuelles mais, dans l'état actuel des choses, les jeunes élevés avec un aliment d'allaitement sont en danger de carence. Le lait en poudre ne suffit pas à couvrir les besoins en oligoéléments. Il faut remonter ses teneurs à celles présentées dans mon exposé sur les besoins.

M. GACHON — Comment se présente votre thérapeutique d'injections retards ?

Dr. LAMAND — On injecte des doses, allant jusqu'à 10 ml pour des bovins adultes, par voie intramusculaire relativement profonde, de préférence au cou. Elles ne provoquent pas d'inflammation, ni de désordre visible, ni de gêne pour l'animal. Ceci est valable pour le cuivre et le zinc. Nous avons des essais en cours pour le fer. Pour le manganèse, on a une légère inflammation qui peut aller jusqu'à l'épaisseur d'une main chez un adulte. Pour le manganèse, seulement, il y a

quelque chose de visible. Cela apparaît vers le 4^e jour et disparaît vers le 8^e jour sans ennui pour les animaux. Nous avons fait pour le cuivre des essais sur brebis. La durée d'action est de 2 mois et demi environ. Celles-ci étaient avec un régime carencé en cuivre. Les témoins ont présenté des signes de carences biochimiques graves. Le foie des témoins contenait en moyenne 55 ppm (13-376) de cuivre contre 190 ppm (80-1060) chez les animaux traités. Pour le zinc, nous avons travaillé sur des veaux présentant des symptômes cliniques (inappétence, chute de croissance) et un mois après nous les avons abattus. En une semaine, ils sont passés d'une croissance de 400-500 g/j à 1 500 g/j. A l'autopsie on voyait encore des traces de l'injection.

Dr. PONTOIS — Je me demande si ce système d'implants ne va pas tomber à plat dans le public et être relevé par des informateurs de mauvaise foi comme c'est souvent le cas, et par des journaux à sensation. Après les implants hormonaux qui ont connu ce que vous savez, est-ce que vous n'allez pas être taxé de remplacer ces implants par des implants différents qui risquent d'être autant contaminants ? Ceci est illustré encore par une revue de presse entendue ce matin à la radio en ce qui concerne un certain nombre de polluants divers dans l'alimentation. Il n'était pas question bien sûr de cuivre ou de cobalt mais de mercure. Mais on ne fera pas dans le public la différence entre le plomb, le mercure et les oligoéléments.

Dr. LAMAND — Je suis conscient qu'il faut faire attention aux consommateurs. Que penser de ces injections retard ? Sont-elles ou non un danger pour le consommateur ? Elles sont, bien sûr, à manier avec un minimum de précautions c'est-à-dire qu'il est tout à fait déconseillé d'abattre les animaux très peu de temps après. Mais, de toute manière, je ne pense pas que le consommateur court un grand risque puisque au point d'injection, il est injecté quelque chose de rigoureusement insoluble donc éventuellement rigoureusement indigestible par le consommateur. Il reste au point d'injection un nodule d'inflammation visible. Or, il est évident qu'à la découpe du cou c'est tellement apparent que cela sera épluché par le boucher. De toute manière cela ne passera jamais dans l'assiette du consommateur. De plus, progressivement, cette inflammation diminue et disparaît. L'évolution est la suivante : au moment de la phase la plus active, quelques jours après l'injection, on enlève environ 1 à 1,5 kg de viande. Vers 3 semaines, il ne reste plus qu'un œuf de poule, mais c'est toujours visible.

Dr. PONTOIS — Je suis tout à fait d'accord avec vous. Vu le nombre de carcasses abattues, je ne pense pas que toutes les carcasses vont recevoir des injections d'oligoéléments. Les injections seront réservées aux cas cliniques constatés. Ce n'est pas un problème important sur les quantités de viande abattues, c'est un problème médical et je pense que là, ils n'ont pas à intervenir dans ce domaine.

Dr. LAMAND — C'est réservé à la thérapeutique. Eventuellement, il est possible d'utiliser ces injections pour résoudre des problèmes de prophylaxie. Ce qui me paraît important dans l'utilisation de cette thérapeutique c'est qu'en 2 mois et demi, on a le temps de compléter le diagnostic, faire une analyse, tirer une conclusion, organiser une prophylaxie, sans qu'on ait de rechutes, car après un traitement per os, les animaux rechutent rapidement. Donc, je crois que dans la majorité des cas, cette méthode doit être employée comme thérapeutique et dans de rares cas à titre de prophylaxie et je pense que le danger pour les consommateurs est extrêmement faible.

ANONYME — Pensez-vous que l'adjonction de RUMIPEC à l'ensilage de maïs soit à conseiller ? Est-ce seulement une solution de dépannage compte tenu qu'il y a de grosses différences de teneurs à cause des variations dues au sol, au climat, etc... ?

Dr. LAMAND — Je crois que le RUMIPEC est très intéressant car il a l'avantage sous une forme d'application commode, d'amener ce qui manque : urée, soufre, oligoéléments et majeurs. On a pu, par notre proximité avec M. CROSSET-PERROTIN, modifier les formulations en fonction des apports de soufre et vérifier que ces apports n'étaient pas exagérés.

M. JOUSSELIN — Je voudrais ajouter deux remarques. D'abord une remarque de langage. Je bondis à chaque fois que des vétérinaires parlent d'implants à propos d'injections liquides retards. Les implants sont des produits solides. En ce qui concerne le lieu d'injection vous avez parlé d'encolure et j'ai le souvenir d'avoir vu des traces, non pas d'oligoéléments, mais de fer. Les éleveurs avaient bien fait une injection profonde mais ils étaient tombés sur le ligament cervical. Il y a eu des ennuis à l'abattage, très longtemps après l'injection, et le boucher a traduit tout de suite : ce veau a reçu des implants.

Dr. LAMAND — Il est important de ne pas injecter dans ce ligament et de maîtriser la profondeur de l'injection.

M. CAZES DE MONDENARD — Je voudrais savoir quelles sont vos recommandations pour le soufre ? D'autre part, la liste d'oligoéléments dont vous avez parlé pendant ces trois jours est plus courte que celle que l'on voit souvent dans la littérature étrangère. Que pensez-vous des autres oligoéléments ?

Dr. LAMAND — D'après les travaux les plus récents, il est sans intérêt zootechnique pour les bovins de dépasser la dose de 2 g de soufre par kg. Chez les ovins, peut-être faut-il dépasser quelque peu ce chiffre ? Donc le soufre ne doit pas être mis inconsidérément en toutes circonstances. Par définition, le soufre est destiné à valoriser une source d'azote soluble. Pour le bon fonctionnement de la flore du rumen, il faut aussi de l'énergie donc il faut une ration énergétique convenable. Les teneurs habituellement rencontrées dans les ensilages de maïs sont de 0,9 à 1,1 g de soufre par kilo et en France on a parfois trouvé 1,5 g/kg. Donc il est intéressant de rajouter 0,5 à 1 g au maximum.

Pour les oligoéléments étudiés ces trois jours on a clairement montré des carences. Il existe d'autres éléments qui sont

réputés indispensables surtout chez le rat, comme l'étain, le vanadium, le chrome, etc... mais en tout cas, on n'a pu obtenir des symptômes pour ceux-ci, chez le rat, qu'en pratiquant des carences dans des conditions draconiennes, loin des conditions de la pratique. Donc ces carences potentielles ont peu de chances de s'extérioriser chez les ruminants.

M. ROSSARD — Que pensez-vous des aliments déshydratés au point de vue soufre. Nous avons obtenu des teneurs aussi élevées que 4 g/kg.

Dr. LAMAND — Il faut considérer cet aliment comme un aliment supplémenté en soufre et dans ce cas, adopter les recommandations de la 2^e colonne de mon tableau.

M. COPPENET — Pour les maïs, nous avons constaté qu'à l'entrée de la déshydratation la moyenne est de 1,1 à 1,2 g/kg et à la sortie de 2 g/kg avec des variations importantes selon les lots. Ces apports de soufre sont certainement dus au foin. Avec la luzerne, plus riche au départ (2 g/kg) on arrive à 4 g/kg.

Dr. MITTON — Depuis l'augmentation du prix des phosphates on voit apparaître sur le marché des polyphosphates avec une très grande richesse en fluor. J'ai entendu parler de 4 % de fluor. Que pensez-vous de l'action de ce fluor ainsi introduit dans le condiment minéral et des accidents possibles ?

M. GUEGUEN — Il ne s'agit pas en général de polyphosphates mais de phosphates naturels ou fluorapatites qui sont en effet riches en fluor, les teneurs variant en moyenne de 2 à 4 %. Ces teneurs sont excessives et peuvent conduire à des accidents de fluorose chez les animaux. Il est exact que la crise des phosphates incite à l'emploi de ces phosphates bruts mais je ne connais pas l'étendue actuelle de ce marché en France. Toutefois, l'acheteur est théoriquement protégé par la législation puisque la nouvelle réglementation en vigueur est très sévère à cet égard. Ainsi, les phosphates vendus à l'éleveur et les composés minéraux pour bovins ne doivent pas contenir plus de 0,2 % de fluor (0,45 % dans le cas de porcins). Cela limite donc très sérieusement le pourcentage d'incorporation des phosphates naturels non défluorés dans les composés minéraux.

ANONYME — Quel est le rôle du nickel et quels sont les symptômes de carence ? En effet, il est utilisé parfois avec succès, associé au cobalt et au zinc dans certains troubles digestifs chez le veau.

Dr. LAMAND — La carence en nickel est suspectée dans la diarrhée pancréatique du veau. Ceci n'a pas été prouvé. Au contraire, M. FAYET n'a jamais trouvé d'atteintes pancréatiques dans les diarrhées néonatales. Donc, je ne crois pas à cet effet du nickel et quant au succès thérapeutique le tout est de savoir s'il y avait des lots témoins. Quant au cobalt, qui est injecté avec le nickel, je n'en vois pas son rôle car vous savez que le cobalt, chez les ruminants, doit être transformé en vitamine B12 par la flore du rumen pour être assimilé. Son seul rôle pourrait être d'accroître la synthèse des hématies, il s'agirait alors d'un effet thérapeutique.

Dr. SIMOULIN — Nous regrettons que le Professeur FERRANDO n'ait pas pu faire son exposé. Pourrait-on avoir un aperçu de l'aspect législatif ?

Dr. LAMAND — Je peux vous donner une petite précision concernant le sélénium. Il est autorisé depuis décembre 1973 dans les rations. On peut ajouter 0,1 ppm de sélénium et la limite légale à ne pas dépasser est de 0,5 ppm. La première limite est une recommandation de la Répression des Fraudes. Pour les autres aspects de la législation, je pense que M. GUEGUEN pourrait résumer la situation.

M. GUEGUEN — Je ne suis pas habilité à parler au nom de M. le Professeur FERRANDO, et je ne puis qu'essayer de faire l'historique du problème et de vous donner mon opinion personnelle. Notre rôle à nous, chercheurs de l'I.N.R.A., n'est pas de légiférer et nous sommes souvent loin du pôle de décision. Actuellement, les garanties obligatoires sont les matières minérales en % au minimum, le phosphore total en % minimum, le calcium en % au minimum, les chlorures exprimés en chlorure de sodium en % au maximum et l'insoluble chlorhydrique en % au maximum, et c'est tout ! Vous savez qu'en France la législation est de type négatif et que les inscriptions non obligatoires ou non autorisées sont interdites. Il est évident que les indications actuellement autorisées sont nettement insuffisantes. Le marché des minéraux, assez anarchique, est encore appelé à se développer et il est regrettable que l'éleveur ne puisse savoir ce qu'il achète. Nous demandons, avec le Dr. LAMAND, depuis environ six ans de compléter la liste des garanties exigées sur l'étiquette. Il y a eu récemment une réunion de mise au point avec des représentants de l'Industrie, de l'Élevage, de la Répression des Fraudes et de l'I.N.R.A. Nous avons établi une liste de propositions qui ont été soumises à la Commission Interministérielle et Interprofessionnelle de l'Alimentation Animale. Commission présidée par M. le Professeur FERRANDO. Nous avons demandé que soient rajoutés le sodium en % au minimum, le magnésium en % au minimum et aussi le fer, le zinc, le manganèse et le cuivre en ppm au minimum, avec une marge de tolérance. En fait, on aurait déjà le droit d'indiquer les quatre derniers éléments sur l'étiquette, en accord avec le décret 73-1101 du 24 novembre 1973, s'il existait des méthodes analytiques officielles. Or, elles n'existent pas encore. Nous pouvons espérer que ces méthodes seront officialisées au niveau national assez rapidement (avant 6 mois). En effet, ces méthodes sont prêtes et bien au point. Au niveau européen, la discussion n'est pas encore engagée et de ce fait nous risquons d'attendre encore longtemps une normalisation communautaire. En revanche, le sodium et le magnésium, non classés comme additifs alimentaires, sont exclus du précédent décret et rien n'est prévu pour ces éléments alors que les méthodes officielles de dosage existent en France. Dans la liste de propositions figure aussi l'extraction citrique du phosphore et un projet de méthode officielle est actuellement à l'étude à la Commission Générale d'Unification des Méthodes d'Analyse. Je tiens aussi à préciser que nous réclamons ce nouvel étiquetage depuis très longtemps et que la question a été récemment relancée par les E.D.E. de l'Eure-et-Loir et de l'Orne après des enquêtes réalisées sur les composés minéraux.

M. BELLANGER — Je voudrais préciser que les oligoéléments (Fe, Zn, Cu, Mn) étudiés au sein de la Commission n° 7 de la Commission Générale d'Unification des Méthodes d'Analyse, sont dosés par absorption atomique. Ce sont ces méthodes qui seront officialisées à l'échelon national.

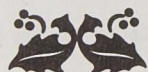
M. GUEGUEN — Cela suppose que les laboratoires sont équipés en absorption atomique mais c'est généralement le cas. Je pense que les propositions sont raisonnables car nous avons évité de demander l'indication sur l'étiquette de l'iode, du cobalt, du sélénium et du molybdène, éléments difficiles à doser.

Dr. LAMAND — Il serait intéressant que l'on sache combien il y a de sélénium pour éviter d'amener du sélénium par plusieurs voies. Une seule suffit, et il est intéressant de supplémenter les animaux avec 0,1 ppm mais pas davantage. A l'inverse, si l'iode figure, il y aura des problèmes de conservation. Il peut arriver que des fabricants préfèrent indiquer "tant à l'incorporation".

Dr. BROCHART — Il se trouve que dans la nature on peut se procurer des compléments minéraux dont la formule est bonne et ceci en raison des pressions économiques exercées par un certain nombre d'organismes professionnels. Je pense que ceci devrait contribuer à accélérer la venue des textes officiels. Il est sans doute dommage que la réalité retarde sur la législation mais ce n'est pas la première fois que cela arriverait en France. Ceci étant, que devons-nous faire concrètement. Il existe sur le marché de plus en plus de compléments minéraux enrichis en oligoéléments, les prix baissent ; par conséquent une supplémentation en oligoéléments raisonnée et de masse est maintenant à la portée de ceux qui veulent bien la faire, ce qui dans l'état actuel des connaissances semble être la politique la plus rationnelle.

M. GUEGUEN — Dans les propositions qui ont été faites, toutes les teneurs doivent être rapportées au produit brut et le terme "dont" est supprimé. Il y avait en effet une certaine ambiguïté dans l'expression "matières minérales x % dont phosphore y %", certaines interprétations rapportant la teneur en phosphore aux matières minérales.

Nous avons aussi demandé que soit accordée et définie une latitude analytique pour les garanties, variable avec l'élément, afin de laisser au fabricant une marge raisonnable. Cette latitude serait de — 10 à + 25 % pour les macroéléments et de — 25 à + 25 % pour les oligoéléments. Cela peut paraître exagéré mais, en pratique, il est difficile de demander mieux et une telle garantie est satisfaisante.



EN VENTE A : Section Documentation du S.E.I.
I.N.R.A. - C.N.R.A.
Route de St Cyr
78000 VERSAILLES